Aus der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. E. Körber
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

OKKLUSALE DIFFERENZEN BEI FEHLREGISTRIERTEN SCHARNIERACHSENPUNKTEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Wulf Sörgel
aus
Lüdenscheid

1978

Aus der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. E. Körber
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Universität Tübingen

OKKLUSALE DIFFERENZEN BEI FEHLREGISTRIERTEN SCHARNIERACHSENPUNKTEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Wulf Sörgel
aus
Lüdenscheid

1978

UNIV.
LEIDEN
NBL.

Dekan:	Professor Dr. H.-E. Hoffmeister
1. Berichterstatter:	Professor Dr. E. Körber
2. Berichterstatter:	Professor Dr. W. Schulte

Fotodruck H. Resch · Georgstraße 50 · 7402 Kirchentellinsfurt

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
2.	PROBLEMSTELLUNG UND ZIEL DER UNTERSUCHUNG	3
3.	LITERATURÜBERSICHT	8
3.1.	Allgemeine Arbeiten, die sich mit der Problematik der Kieferrelationsbestimmung befassen	8
3.2.	Experimentelle und klinische Arbeiten über die Reproduzierbarkeit von Scharnierachsenlokalisation und Kieferrelationsbestimmung	9
3.3.	Literaturstellen, die sich mit den Auswirkungen von Fehlregistrierungen der Scharnierachse auf Okklusion und Artikulation befassen	14
4.	EIGENE UNTERSUCHUNGEN (mathematische Analyse)	17
4.1.	Einführung eines dreidimensionalen Koordinatensystems	17
4.2.	Festlegung der Bezugsgrößen anhand von Fernröntgenbildern	19
4.3.	Einfluß fehlregistrierter Scharnierachsenpunkte auf die Artikulatormontage	25
4.3.1.	Untersuchte Parameter	25
4.3.2.	Computerprogramm	29
4.3.3.	Ergebnisse	32
4.3.3.1.	Variation des Registrierfehlers	32
4.3.3.1.1.	Horizontale Translation der Scharnierachse	35
4.3.3.1.2.	Vertikale Translation der Scharnierachse	38
4.3.3.1.3.	Horizontale Schwenkung der Scharnierachse	40
4.3.3.1.4.	Vertikale Kippung der Scharnierachse	42
4.3.3.2.	Variation der Bißsperrung	44
4.3.3.3.	Variation der Kauebene	46

		Seite
4.4.	Abweichung der Lateralbewegungsbahn des Unterkiefer-Incisalpunktes bei fehlregistrierten Scharnierachsenpunkten	49
4.4.1.	Mathematisches Modell	49
4.4.2.	Dateneingabe und Berechnung	53
4.4.3.	Ergebnisse	58
5.	DISKUSSION	65
5.1.	Zum Einfluß fehlregistrierter Scharnierachsenpunkte auf die Artikulatormontage	65
5.2.	Zur Abweichung der Lateralbewegungsbahn	66
6.	ZUSAMMENFASSUNG	68
7.	TABELLENANHANG	70
8.	LITERATURVERZEICHNIS	81

1. EINLEITUNG

Bei der Anfertigung von Zahnersatz - sowohl von festsitzenden Brücken als auch herausnehmbaren partiellen und totalen Prothesen - müssen die Kauflächen von Oberkiefer- und Unterkieferzähnen so aufeinander abgestimmt werden, daß Unterkieferbewegungen störungsfrei ausgeführt werden können und traumatische Fehlbelastungen von Zähnen oder zahnlosen Kieferabschnitten vermieden werden.
Zahnersatzkonstruktionen sollen daher in einem analogen technischen Modellsystem angefertigt werden, das in erster Näherung dem zu behandelnden Kausystem entspricht (18). Im Rahmen zahnärztlich-prothetischer Maßnahmen werden deshalb Oberkiefer- und Unterkiefermodell schädelbezüglich in einen Artikulator (Bewegungssimulator) eingebaut, um Okklusion und Artikulationsbewegungen im Grenzbewegungsfeld der Kiefergelenke reproduzieren zu können. Es ist nicht erforderlich, im Artikulator als Diagnose- und Arbeitsgerät freie Unterkieferbewegungen (ohne Zahnkontakt) auszuführen. Die Betrachtung des Artikulationsproblems beschränkt sich vielmehr nur auf Kieferbewegungen unter Okklusionskontakt (18). Insbesondere bei größeren prothetischen Rehabilitationen und bei der Funktionsanalyse spielt die schädelbezügliche Orientierung der Kiefermodelle eine große Rolle.
Voraussetzung zur exakten Artikulatormontage ist neben der schädelbezüglichen Orientierung der Kiefermodelle die Bestimmung der Kieferrelation, also die Festlegung der Lagebeziehung des Unterkiefers zum Oberkiefer. Dazu existieren verschiedene Verfahren, die je nach Anzahl der noch vorhandenen okklusalen Stützzonen, eventuell vorhandener Parodontalschäden und bestehender Myoarthropathien ihre speziellen Indikationsbereiche haben.

Bei der schädelbezüglichen Orientierung der Modelle in den Artikulator können Fehler auftreten, die die Reproduktionsgenauigkeit der Artikulatormontage beeinträchtigen. Insbesondere geht es dabei um die Reproduzierbarkeit der Öffnungs-

und Schließbewegung des Unterkiefers, die mit Hilfe der sogenannten Scharnierachsenregistrierung erreicht werden soll.
In der vorliegenden Arbeit werden die Auswirkungen von Fehlregistrierungen der Scharnierachsenpunkte auf die Berührungsverhältnisse der antagonistischen Zahnreihen untersucht; dabei werden auch die methodischen und instrumentell bedingten Fehlermöglichkeiten der Scharnierachsenregistrierung berücksichtigt.

2. PROBLEMSTELLUNG UND ZIEL DER UNTERSUCHUNG

Die terminale Scharnierachse ist eine gedachte Linie. Sie verbindet die Rotationszentren der beiden Kondylen miteinander, wenn sich die Kondylen in ihrer rückwärtigen, kranialen, nicht seitenverschobenen Lage in den Gelenkpfannen befinden. Die beiden Punkte, an denen die terminale Scharnierachse imaginär am Schädel durch die Haut tritt, werden Scharnierachsenpunkte genannt (2). Ihre Registrierung basiert auf der Annahme, daß die terminale Scharnierachsenbewegung des Unterkiefers als Grenzbewegung konstant und reproduzierbar ist. Dies gilt nach POSSELT (23, 24) bis zu einer Scharnieröffnungsbewegung von 15 - 20 mm.

Mit einem Achsenlokalisator (Abb. 1) wird die genaue Lage des Rotationszentrums des unter der äußeren Haut verborgenen Kondylus auf der Oberfläche sichtbar dargestellt.
In Anlehnung an KÖRBER, K.H. (18) läßt sich das Verfahren folgendermaßen skizzieren:

Die Methode beruht auf dem Prinzip, daß sich alle Massepunkte eines rotierenden festen Körpers um dessen Rotationszentrum drehen müssen.
Ein auf der Unterkiefer-Zahnreihe befestigter Gesichtsbogen trägt an seinen freien Enden jeweils eine Meßnadel. Während nun der Unterkiefer aus der Retroposition reine Scharnierbewegungen ausführt, bewegt sich der zufällig unter der Nadelspitze eingestellte Massepunkt um das Rotationszentrum. Über dem Kiefergelenkgebiet auf der Tragus-Orbital-Linie nimmt man ein Feld von ca. 2 cm x 2 cm an. In ungefährer Feldmitte beginnt die Ortung des Rotationszentrums. Die Registriernadel ist dann immer rechtwinklig zur beobachteten Drehung zu korrigieren. Ziel der Methode ist es, den Ort zu finden, an dem keine Bewegung stattfindet, denn dort

Abb. 1.: Am Patienten angelegter Scharnierachsenlokalisator zur Registrierung der terminalen Scharnierachsenpunkte (Haut-Referenz-Punkte).

Führt der Unterkiefer eine reine Scharnierbewegung aus, so bleibt die Nadel über dem Kiefergelenkgebiet in Ruhe, wenn die Nadelspitze exakt auf das Rotationszentrum der Bewegung -den Scharnierachsenpunkt- zeigt.

liegt das Rotationszentrum.
Um die Einheit Scharnierachse-Okklusionsfeld im Artikulator in der richtigen räumlichen Lage zur Kondylenbahn zu montieren, bedient man sich eines dritten Bezugspunktes, des Orbitalpunktes (durchgetasteter tiefster Punkt der Orbita), der zusammen mit den Scharnierachsenpunkten die Achse-Orbital-Ebene definiert.
Um das Unterkiefermodell gegen das Oberkiefermodell in terminaler Scharnierachsenposition orientieren und in das Artikulatorunterteil eingipsen zu können, wird diese Unterkieferposition ("Kieferrelation") mit einer Wachsplatte am Patienten registriert.
Eine sehr wichtige Voraussetzung für diese Registriermethode ist, daß sich die antagonistischen Zahnreihen bei der Registrierung nicht berühren. Dadurch wird gewährleistet, daß nicht wieder eine eventuell vorhandene Zwangslage durch den Zahnkontakt eingestellt wird (9).
Bei der Kieferrelationsbestimmung wird der Vertikalabstand Oberkiefer-Unterkiefer um die Dicke des intraoralen Registrates vergrößert.
Wird im Artikulator später, nachdem das Unterkiefermodell gegen das Oberkiefermodell orientiert und in das Artikulatorunterteil montiert wurde, die richtige Vertikaldimension eingestellt, führt dies ohne Scharnierachsenlokalisation, Markierung des Orbitalpunktes und ohne korrekte Übertragung dieser Größen auf den Artikulator zu einer fehlerhaften Kontaktbeziehung der Zahnreihen (1), da allein eine Scharnierbewegung des Unterkiefers im halbindividuellen Artikulator exakt simuliert werden kann. Zweidimensional läßt sich das Problem folgendermaßen skizzieren (Abb. 2).

Der Aussagewert dieser zweidimensionalen Lösung ist begrenzt, da keine Angaben über entstehende okklusale Fehlerkomponenten in transversaler Richtung möglich sind.
Deshalb war es das Ziel unserer Untersuchung zu berechnen, wie groß die dreidimensionalen okklusalen Differenzen bei unterschiedlichen Drehachsen von Patient und Artikulator sind (entweder aufgrund von Fehlregistrierungen der termi-

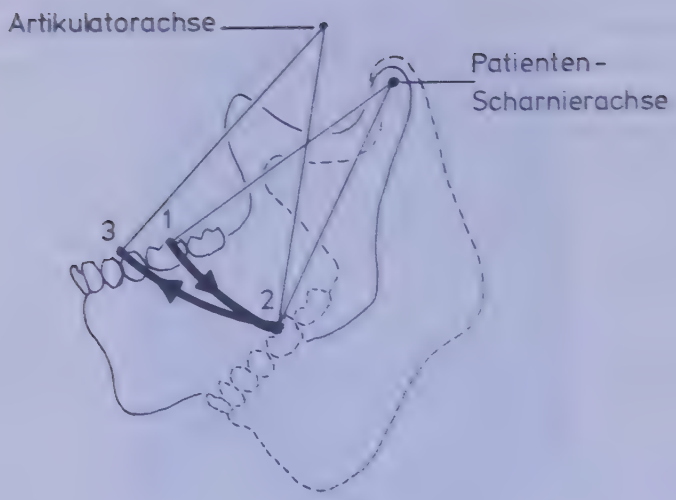


Abb. 2.: Auftreten eines okklusalen Fehlers (Streckendifferenz $\overline{1\ 3}$) im Artikulator bei fehlregistrierter Scharnierachse. Im vorliegenden Fall schließt der UK in einer nach anterior verschobenen Kontaktposition. $\overline{12}$ = scharnierförmige Öffnungsbewegung des Patienten vor dem Einbringen der Registriervorrichtung. $\overline{23}$ = Schließbewegung des UK-Modells im Artikulator nach Entfernen des Registrates.

nalen Scharnierachsenpunkte, von Übertragungsfehlern oder aufgrund der Verwendung von Mittelwertartikulatoren oder Mittelwertübertragungsbogen).
Während in bisherigen Arbeiten lediglich Parallelverschiebungen der Scharnierachse behandelt wurden, betrachteten wir die okklusalen Veränderungen bei beliebiger räumlicher Verlagerung der Scharnierachse, also auch bei Kippungen und Schwenkungen. Es sollte die Frage beantwortet werden, in welcher räumlichen Richtung sich Fehlregistrierungen der Scharnierachse stärker, in welcher sie sich schwächer auf die Genauigkeit der Artikulatormontage auswirken.
Wir wollten dabei im einzelnen klären, wie sich die resultierenden okklusalen Differenzen am Incisalpunkt und an einem Molarenpunkt in der Schlußbißlage nach einer Kieferrelationsbestimmung mit Vergrößerung der Vertikaldimension (Bißsperrung) verändern, wenn folgende Größen variiert werden:

- Größe und Richtung des Registrierfehlers
- Größe der Bißsperrung (Vertikalabstand OK-UK bei incisaler Messung)
- Lage und Neigungswinkel der Kauebene (Okklusionsebene).

Weiterhin interessierte uns, wie sich die Lateralbewegungsbahn des Unterkiefer-Incisalpunktes rechnerisch verändert, wenn die Scharnierachsenpunkte fehlregistriert sind und die Schlußokklusion korrekt in den Artikulator übertragen wurde, d.h. keine Änderung der Vertikaldimension (Bißsperrung) bei der Kieferrelationsbestimmung vorgenommen wurde.

3. LITERATURÜBERSICHT

3.1. ALLGEMEINE ARBEITEN, DIE SICH MIT DER PROBLEMATIK DER KIEFERRELATIONSBESTIMMUNG BEFASSEN.

HARCOURT (12) gibt einen Gesamtüberblick über Fehlerquellen und werkstoffbedingte Ungenauigkeiten, die mit den einzelnen Arbeitsschritten bei prothetischen Rekonstruktionen verbunden sind und setzt sich mit der Hauptfehlerquelle "Registrieren und Übertragen der Kieferrelation" auseinander. Nach seiner Ansicht bietet eine arbiträre Scharnierachsenbestimmung ausreichende Genauigkeit.

KOEBER, E. (17) stellt fest, daß die Meinungen über die richtige oder physiologische Kieferrelation im Schlußbiß (in der maximalen Interkuspidation) auseinander gehen. Noch nicht erwiesen ist, daß die angeblich als einzige Position reproduzierbare "retrudierte Kontaktposition" auch als die einzige Ausgangsposition für die Schlußbißlage angesehen werden kann. Es geht dabei um die in der Praxis wichtige Frage, ob bei der Rehabilitation der Schlußbiß in der habituellen Okklusion oder in einer retrudierten Kontaktposition eingestellt werden soll. Es ist im natürlichen Gebiß möglich, daß die habituelle Okklusion und die retrudierte Kontaktposition zusammenfallen. Die maximale Interkuspidation kann aber auch mit einer habituellen, etwas nach vorne verlagerten Position identisch sein.
KOEBER verweist dabei auf die Untersuchungen von JÄGER (15), die an 20 Probanden mit vollbezahntem Gebiß durchgeführt wurden: Nur bei 10 % der Fälle stimmte die maximale Interkuspidation mit der retrudierten Kontaktposition überein. Bei 50 % der Probanden lag die maximale Interkuspidation etwa 1 mm vor der retrudierten Kontaktposition.

ZACHER und KULMER (31) wiesen darauf hin, daß bei der

Scharnierachsenmethode Fehlregistrierungen möglich sind, wenn das Kiefergelenk -insbesondere durch Dehnung des Bandapparates- bereits geschädigt ist.

KIPPENBERGER, SCHAPER und JAHN (22) untersuchten graphisch die Öffnungsbewegungen des Unterkiefers an 30 Probanden. Die Auswertung der Resultate ergab, daß nur die passive Öffnungsbewegung des Unterkiefers immer und eindeutig Rotationscharakter aufwies und reproduzierbar war. Die aktive Öffnungsbewegung fiel in 13,7 % mit der passiven Öffnung zusammen, in 86,7 % beschrieb sie eine eigene Bahn. Die habituelle Öffnungsbewegung ergab immer eine gemischte Rotations-Translations-Bewegung und war nicht reproduzierbar.

3.2. EXPERIMENTELLE UND KLINISCHE ARBEITEN ÜBER DIE REPRODUZIERBARKEIT VON SCHARNIERACHSENLOKALISATION UND KIEFERRELATIONSBESTIMMUNG

Um die Größe des Systemfehlers bei der Achsenlokalisation herauszufinden, bestimmten BORCH und POSSELT (3) die terminalen Scharnierachsenpunkte an einem modifizierten Hanau-Artikulator. Dazu wurden lateral der Kondylargehäuse angebrachte Meßplatten mit schwarzem Papier abgedeckt und die Scharnierachsenpunkte mit einem kinematischen Hanau-Gesichtsbogen je zehnmal bei 10° und 15° Öffnungswinkel lokalisiert. Es zeigte sich, daß die artikulatoreigene Scharnierachse nicht fehlerlos registriert werden konnte. Die fehlregistrierten Achsenpunkte waren innerhalb von Kreisen mit 1,0 - 1,5 mm Durchmesser um die artikulatoreigene Achse gestreut. Bei 15° Öffnungswinkel waren die Abweichungen etwas geringer als bei 10° Öffnungswinkel.

In einer anderen Untersuchung wurden wesentlich kleinere Werte erzielt:
LAURITZEN und WOLFORD (21) beschrieben einen "in-vitro"-

Versuch zur Feststellung, wie genau das Rotationszentrum bei einer Kreisbewegung von 15^{o}, 10^{o} und 5^{o} lokalisiert werden kann. Mit einem speziell hierzu konstruierten experimentellen Aufbau führten 20 Personen mit unterschiedlicher Übung insgesamt 190 Lokalisationen durch. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, daß eine Öffnungsbewegung von 10^{o} zur Achsenlokalisation ausreicht. Mit der experimentellen Versuchsanordnung erreichten geübte Zahnärzte eine Genauigkeit von 0,2 mm bei der Ortung des Rotationszentrums; d.h. die registrierten Punkte lagen in einem Streukreis mit 0,4 mm Durchmesser um die wahre Achse der Versuchsanordnung.

Der entsprechende "in-vivo"-Versuch ergibt folgendes Bild: SEILER und HUPFAUF (31)registrierten die terminalen Scharnierachsenpunkte des Unterkiefers bei 20 Patienten, die keine funktionellen Störungen im Bereich des Kauorgans aufwiesen, mit einem Almore-Registrierbogen und tätowierten sie in die Oberhaut ein. In Abständen von 14 Tagen bis 3 Wochen bzw. 6 Wochen bis 2 Monaten erfolgte eine Kontrollregistrierung.
Die reproduzierten Scharnierachsenpunkte wichen im Mittelwert bei der ersten Kontrolle 0,7 mm rechts und 1 mm links ab. Bei der zweiten Überprüfung ergaben sich Differenzen von 0,6 mm rechts und 0,7 mm auf der linken Seite. Die Reproduzierbarkeit verschlechterte sich zwischen der ersten und der zweiten Kontrolle nicht.

TRAPOZZANO und LAZZARI (33) fanden bei der Achsenlokalisation von 14 Patienten mit einem Hanau-Gesichtsbogen heraus, daß nur 42,8 % der Patienten jeweils einen einzelnen Scharnierachsenpunkt auf jeder Seite zeigten. Bei 57,2 % wurde einseitig oder beidseitig mehr als ein Scharnierachsenpunkt gefunden.
In einer weiteren Arbeit ziehen TRAPOZZANO und LAZZARI (34) aus den Ergebnissen der Scharnierachsenregistrierung bei 22 Personen den Schluß, daß damit das Vorhandensein multipler Scharnierachsen nachgewiesen sei.

SCHALLHORN (30) verglich bei 70 Zahnmedizinstudenten mit normaler Okklusion und vollständigen Zahnreihen die Lage der exakt registrierten Scharnierachsenpunkte mit den arbiträr festgelegten Punkten. Dabei wurde jeweils der arbiträre Punkt (13 mm vor dem Tragus auf der Linie Tragus - äußerer Augenwinkel als willkürlicher Nullpunkt gewählt und die mit einem Hanau-Gesichtsbogen bei 10 mm incisaler Öffnungsbewegung lokalisierten Scharnierachsenpunkte relativ dazu aufgezeichnet. In über 95 % der Fälle lag der exakte Achsenpunkt innerhalb eines Kreises mit 5 mm Radius um das arbiträre Zentrum, in über 60 % der Fälle innerhalb 2 mm.

LAURITZEN und BODNER (20) untersuchten bei 50 Patienten die Lagedifferenzen zwischen den exakt lokalisierten Scharnierachsenpunkten und arbiträr bestimmten Achsenpunkten. Zur standardisierten Festlegung der arbiträren Achsenpunkte wurde ein "Richey condyle marker" verwendet, mit dem eine vertikale Linie 13 mm vor dem hinteren Tragusrand markiert wurde. Der Schnittpunkt dieser Linie mit der Linie Tragus -äußerer Augenwinkel ergab den arbiträren Achsenpunkt. Von den 100 exakt lokalisierten Scharnierachsenpunkten lagen nur 33 % innerhalb eines Kreises um den arbiträr bestimmten Achsenpunkt mit 5 mm Radius. 67 % lagen zwischen 5 mm und 13 mm entfernt vom arbiträr bestimmten Achsenpunkt. Nach einer Verschiebung des arbiträren Zentrums in eine Position, bei der ein Maximum von Punkten innerhalb eines Kreises mit 5 mm Radius anzutreffen war, lagen 70 % aller exakt lokalisierten Scharnierachsenpunkte innerhalb des 5 mm-Kreises.

TETERUCK und LUNDEEN (32) verglichen die exakt lokalisierten terminalen Scharnierachsenpunkte mit den Ergebnissen a) eines Ohr-Gesichtsbogens und b) der konventionellen arbiträren Achsenmethode (13 mm vor dem Tragus auf der Linie Tragus- äußerer Augenwinkel). Beim Ohr-Gesichtsbogen-Verfahren wurden zwei verschiedene Gesichtsbogenmodelle herangezogen. Der zweite, modifizierte war aufgrund der Ergebnisse korrigiert. (Verschiebung der Montagelöcher in

den Ohrstöpseln zum Epizentrum der dichtesten Konzentration von registrierten Achsenpunkten). Alle drei Lokalisations- und Übertragungsmethoden wurden bei 47 Patienten mit vollbezahnten Gebissen angewandt. Innerhalb eines Kreises um den exakt lokalisierten Achsenpunkt mit 6 mm Radius lagen: 33 % der arbiträren Achsenpunkte (13 mm-Methode), 56,4 % der Achsenpunkte des nicht korrigierten Ohr-Gesichtsbogens, 75,5 % der Achsenpunkte des modifizierten Ohr-Gesichtsbogens.
Alle registrierten Punkte (100 %) wurden durch ein Trefferfeld mit 14 mm Radius erfaßt. Die Punktwolken der arbiträr bestimmten Achsenpunkten waren deutlich in anterior-caudaler Richtung gegenüber den wahren Scharnierachsenpunkten verschoben.

ROSSBACH (27) untersuchte 1968 bei zwanzig zahnlosen Patienten, wie stark bei einer Modellorientierung nach Kauebene und Mittellinie im Mittelwertartikulator die Drehachse dieses Mittelwertartikulators von einer individuell mit dem Gesichtsbogen bestimmten Interkondylarachse abweicht, wobei der Gesichtsbogen auf die "konventionellen Kondylenmittelpunkte" auf der Tragus-Augenwinkel-Ebene eingestellt wurde.
Als Ergebnis zeigte sich, daß keiner der am Patienten ermittelten Kondylenpunkte mit dem Drehpunkt des Mittelwertartikulators zusammenfiel. 15 Kondylenpunkte lagen innerhalb eines Kreises mit dem Radius 10 mm um die Artikulatorachse. 5 weitere Punkte waren mehr als 10 mm von dem Drehpunkt entfernt. Die größte gefundene Abweichung von dem Drehpunkt betrug 20 mm.
ROSSBACH empfiehlt deshalb, auch in den Mittelwertartikulator die Kiefermodelle für die Herstellung von totalen Prothesen gelenkbezüglich einzuorientieren.

Nicht nur die Scharnierachsenlokalisation, sondern auch die Kieferrelationsbestimmung wurde unter dem Kriterium der Reproduzierbarkeit untersucht. Für die Registrierung der

Kieferrelation sind heute neben der Aufzeichnung des Pfeilwinkels die intraoralen Wachsregistrate am gebräuchlichsten: HORN und VETTER (15) untersuchten die Reproduzierbarkeit zentraler Registrate nach Lauritzen. Von 21 Probanden erstellten zwei Behandler unter gleichen Voraussetzungen bei jedem Probanden je 4 intraorale Wachsregistrate nach Lauritzen. Ihre Differenz in sagittaler Richtung wurde im Artikulator im Bereich der Kondylarkugeln gemessen. Dem einen Behandler gelang in 33 % der Fälle, dem anderen Behandler in 5 % der Fälle eine völlige Übereinstimmung der Registrate. Der Mittelwert der Differenzen bei allen nicht identischen Registraten betrug 0,09 mm rechts und links beim ersten Behandler und 0,09 mm rechts und 0,2 mm links beim zweiten Behandler.

Die Reproduzierbarkeit des intraoralen Pfeilwinkelregistrates (Symphysenbahnwinkel) wird unterschiedlich beurteilt: Während HOHLFELD und HUPFAUF (14) bei gleichbleibender Vertikaldimension der Kiefer zueinander eine zeitunabhängige Reproduktionsgenauigkeit von ca. 0,1 mm erzielten, wiesen GRASSO und SHARRY (11) darauf hin, daß die Pfeilwinkelspitze bei mehreren Kontrollen über 29 Tage hin nicht exakt reproduziert werden kann.

RICHTER und WINDECKER (26) untersuchten, wieweit okklusale Kontakte am Modell bei unterschiedlichen Lokalisations- und Übertragungsverfahren übereinstimmen. Dazu wurden Oberkiefer- und Unterkiefermodelle von 16 Probanden zweifach in einen SAM-Artikulator montiert, zum einen aufgrund arbiträrer Achsenpunkte nach dem Quickmount-Verfahren, zum anderen aufgrund exakter Lokalisation und Übertragung der terminalen Scharnierachsenpunkte. In der retralen Kontaktposition stimmten 56,7 % aller okklusalen Kontakte bei beiden Verfahren überein; 27,5 % aller Kontakte waren geringfügig gegeneinander verschoben. 15,8 % aller Kontakte waren Einzelkontakte, die jeweils nur an einem der beiden Modellpaare auftraten, also durch das jeweilige Lokali-

sations- und Übertragungsverfahren bedingt waren.
Bei Auslenkung des Unterkiefermodells um 1 mm nach rechts und links ergaben sich nur noch 37 % deckungsgleiche Kontakte, 46 % waren geringfügig gegeneinander verschoben und bei 17 % aller Kontakte handelte es sich um verfahrensbedingte Einzelkontakte.

3.3. LITERATURSTELLEN, DIE SICH MIT DEN AUSWIRKUNGEN VON FEHLREGISTRIERUNGEN DER SCHARNIERACHSE AUF OKKLUSION UND ARTIKULATION BEFASSEN

SROTMAN (4,5,6) kalkulierte bereits 1960 den okklusalen Fehler bei Parallelverschiebung der Scharnierachse durch Vergleich einzelner konkreter Zahlenbeispiele. Er kam zu dem Ergebnis, daß sich der maximal mögliche Fehler sowohl mit Erhöhung der Bißsperrung als auch bei Vergrößerung der Fehlregistrierung annähernd proportional vergrößert.
Zur näherungsweisen Berechnung gibt er folgende "Faustformel" an (alle Größen in mm):

$$\text{max. okklus. Fehler} = \frac{\text{Bißsperrung} \times \text{Registrierfehler}}{100}$$

WEINBERG (55) beschreibt, in welchem Ausmaß Fehler bei der Anwendung eines nichtkinematischen Gesichtsbogens die Höckerneigung auf der Arbeits- und Balanceseite beeinflussen.
Er weist darauf hin, daß die Übertragung der Okklusionsebene primär Bedeutung für die exakte Einstellung der Kondylenbahnneigung hat. Nach seiner Ansicht sind exzentrische Registrate in Kombination mit einer nur arbiträren Artikulatormontage wertlos.

FOX (8) bestimmte geometrisch den maximalen Fehler bei Parallelverschiebungen der Scharnierachse. Seine Ergebnisse lauten:
1. Bei einem Abstand zur Scharnierachse zwischen 70-100 mm

bewegt sich der okklusale Fehler zwischen 0 mm und 0,4 mm, ausgehend von einem maximalen Fehlerkreisradius von 6 mm und einer maximalen Bißsperrung von 7 mm.

2. Der Fehler ist umso größer, je kleiner der Abstand zwischen okklusalem Referenzpunkt und der Scharnierachse ist.

3. Es erfolgt eine lineare Fehlervergrößerung mit steigender Bißsperrung.

4. Mit steigender Fehlregistrierung der Scharnierachsenpunkte erfolgt eine proportionale Fehlervergrößerung.

KÜHL (19) befaßte sich 1967 mit der Geometrie der scharniergelenkbezüglichen Modellorientierung. Bei der Verwendung von Mittelwertgesichtsbogen ist nach seiner Ansicht mit einer Fehlregistrierung der Achse um etwa 5 mm zu rechnen. Seine Berechnungen ergaben, daß sich Fehlregistrierungen der Scharnierachse, die innerhalb eines Kreises von 10 mm Durchmesser liegen, beim Schließen des Artikulators durch Verschiebungen der Modelle gegeneinander bis maximal 0,37 mm auswirken, wenn der Biß bei der Registrierung um 5 mm im Frontzahnbereich gesperrt war.
KÜHL zieht daraus die Schlußfolgerung, daß die Verwendung von Mittelwert-Gesichtsbogen gerechtfertigt ist, weil Ungenauigkeiten, die dabei auftreten können, innerhalb der Reproduktionsgenauigkeit von Bißregistrierungen liegen.

POSSELT (28) berechnete die Auswirkungen von Fehlregistrierungen der Interkondylarachse auf die Reproduktionsgenauigkeit von Artikulationsbewegungen. Er ging dabei von reinen Rotationsbewegungen des Rotationskondylus aus. Die Bennett-Lateralbewegung wurde nicht berücksichtigt.
Für eine Lateralbewegung des Incisalpunktes in der Ebene des Bonwillschen Dreiecks errechnete er für eine Desorientierung von 5 mm (20 mm) einen maximalen okklusalen Fehler von 0,17 mm (0,72 mm). In einer Frontalebene durch die ersten Molaren erhielt er bei 5 mm (20 mm) Desorientierung

einen maximalen okklusalen Fehler von 0,35 mm (1,41 mm).

1973 wies ROSSBACH [29] durch theoretische Berechnungen nach, daß durch eine 10° - Fehlregistrierung der Gelenkbahnneigung im Frontzahn- und Molarenbereich die Lateralbewegungsbahn auf der Arbeitsseite bis zu 0,35 mm, auf der Balanceseite bis zu 0,27 mm abweicht.

HESSER, HOFMANN und PROSCHEL [15] berechneten unter Zugrundelegung der Verhältnisse am Dentatus-Artikulator, wie sich die Artikulationsbahn eines Molarenpunktes bei einer Laterotrusion von 1 mm ändert, wenn einzelne Parameter fehlregistriert werden:
Die größten Fehler ergeben sich bei der von individuellen Verhältnissen abweichenden Kondylenbahnneigung ausschließlich auf der Balanceseite. Eine Änderung des Gelenkbahnneigungswinkels um 5° bewirkt in der Frontalebene bereits Fehler, die immer größer als 125 um sind.
Bedeutende Fehler resultieren auch aus der falschen sagittalen und vertikalen Einordnung der Zahnreihen zur Kondylenachse. Abstandsänderungen von ± 5 mm sind mit vertikalen Differenzen zwischen 50 um auf der Arbeitsseite und um 80 um auf der Balanceseite verbunden.
Große vertikale Fehler können sich weiterhin bei Fehlmessungen des Bennettwinkels ergeben. Bei Bennettwinkeln, die kleiner sind als 15°, liegen die Abweichungen in der Größenordnung eines Zehntelmillimeters. Ebenso nimmt die Steilheit der Artikulationsbahnen bei Verkleinerung des Bennettwinkels zu.
Der Interkondylarabstand hat den geringsten Einfluß auf die Artikulationsbahnen. Mit zunehmender Achsenlänge werden die Artikulationsbahnen steiler.

4. EIGENE UNTERSUCHUNGEN
(mathematische Analyse)

4.1. Einführung eines dreidimensionalen Koordinatensystems

Zur räumlichen Berechnung des okklusalen Fehlers wurde ein schädelbezügliches dreidimensionales rechtwinkliges Koordinatensystem eingeführt, dessen Ursprung auf der exakten Scharnierachse in der Medianagittalebene liegt.

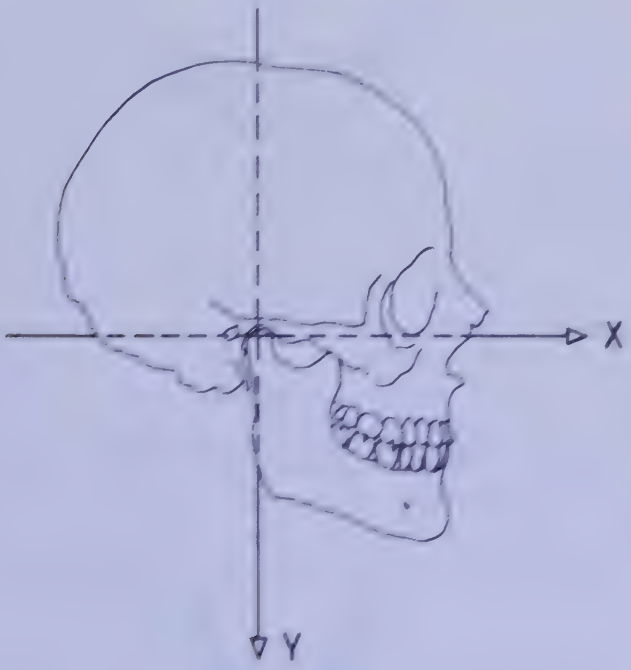


Abb. 3

Die x-Achse wird durch die Verbindungsgerade zwischen Acanthion-Orbital-Ebene und Medianagittalebene festgelegt. Die positive x-Richtung zeigt nach ventral (Abb. 2). Die vertikal orientierte y-Achse liegt ebenfalls in der Medianagittalebene und zeigt mit ihrer positiven Richtung nach caudal (Abb. 3).

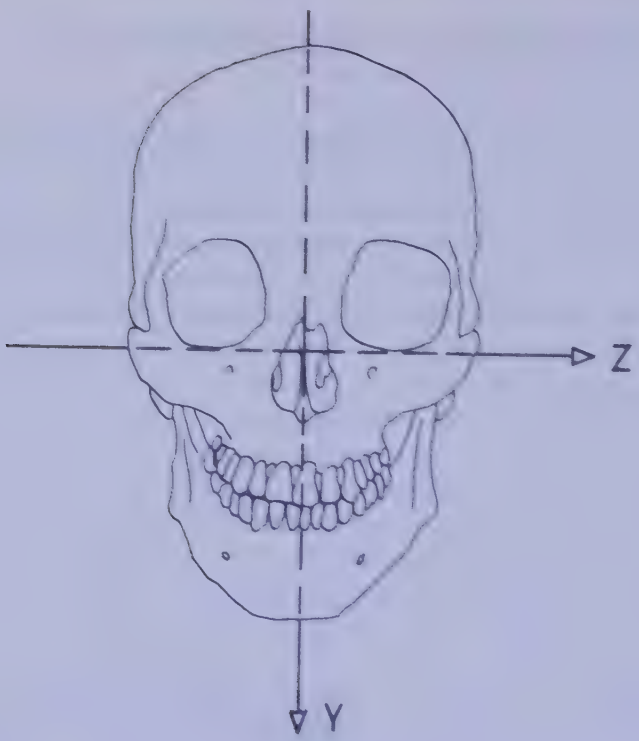


Abb. 4

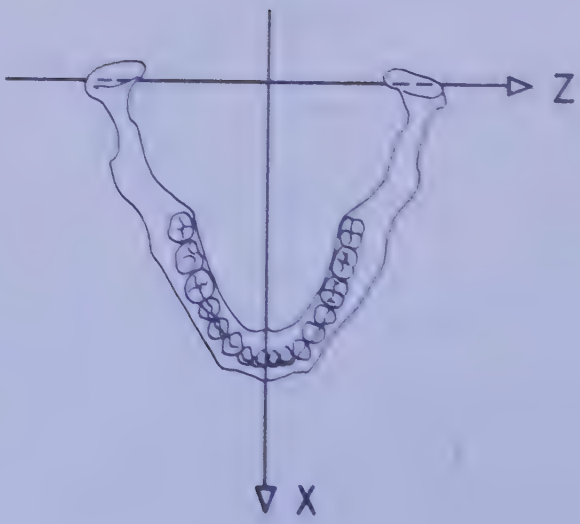


Abb. 5

x-Achse und y-Achse spannen zusammen die Medianssagittalebene auf.
Die z-Achse verläuft durch die beiden exakt registrierten terminalen Scharnierachsenpunkte. Damit fällt die z-Achse mit der imaginären exakten Scharnierachse des Patienten zusammen (Abb.4 und Abb.5). Die positive Richtung der z-Achse zeigt im Sinne des kartesischen Koordinatensystems nach links (von der Patientenseite gesehen).
x-Achse und z-Achse spannen zusammen die Achse-Orbital-Ebene auf.

4.2. Festlegung der Bezugsgrößen anhand von Fernröntgenbildern

Um Informationen über die schädelbezügliche Lage der Kauebene zu erhalten, wurden 32 laterale Fernröntgenbilder analysiert und vermessen. Verwendet wurden aus 2 klinischen Semestern jeweils 16 Studenten pro Semester mit normalen Okklusionsverhältnissen und ohne Kieferanomalien. Die Kauebene (Okklusionsebene) ist durch drei Punkte definiert: Unterkiefer-Inzisalpunkt sowie distovestibuläre Höckerspitzen des linken und rechten unteren zweiten Molaren.
Mathematisch erfaßten wir die Kauebene anhand ihrer Spurgeraden in der x,y-Ebene (Medianssagittalebene). Diese Spurgerade - die einer transversalen Projektion der Kauebene auf die Medianssagittalebene entspricht - wurde durch zwei Größen festgelegt, die im lateralen Fernröntgenbild gemessen wurden (Abb.6): den

Neigungswinkel ε gegen die horizontale x-Achse
und den
y-Achsenabschnitt y_o der Spurgeraden.

Damit lautet die Gleichung der Spurgeraden

$$y = x \cdot \tan\varepsilon + y_o$$

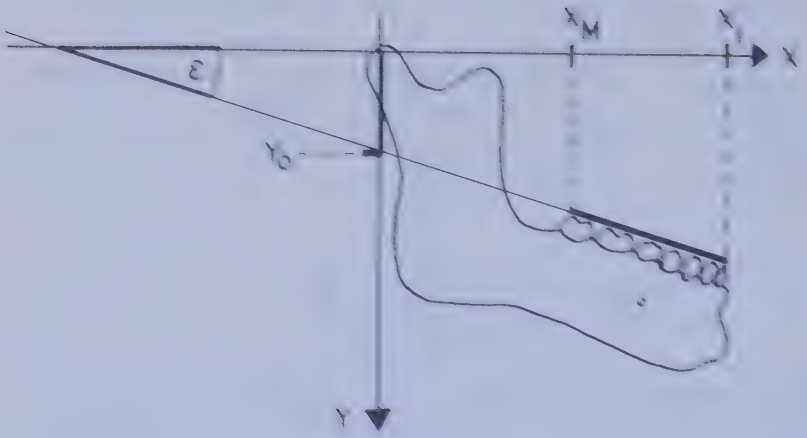


Abb. 6

Darstellung der Größen, die im lateralen Fernröntgenbild gemessen wurden:

Neigungswinkel ε gegen die horizontale x-Achse und y-Achsenabschnitt y_o der Kauebenen-Spurgerade in der x,y-Ebene.

Weiterhin sind die x-Werte vom Incisalpunkt (x_i) und Molarenpunkt (x_M) eingetragen.

Diese Gleichung wird von allen Punkten der Kauebene erfüllt, wenn z beliebige Werte annehmen darf.
Am Beispiel der Fernröntgenbilder des Semesters "B" sei die Abhängigkeit zwischen Neigungswinkel ε und y-Achsenabschnitt y_o der Spurgeraden der Kauebene in der x,y-Ebene (Med.an-sagittalebene) dargestellt (Tab.1 und Abb.7).

Stud.Nr	Neigungswinkel	y-Achsenabschnitt
1	20^o	31 mm
2	15^o	27 mm
3	15^o	34 mm
4	5^o	46 mm
5	18^o	23 mm
6	11^o	34 mm
7	4^o	45 mm
8	4^o	50 mm
9	14^o	33 mm
10	16^o	40 mm
11	20^o	22 mm
12	10^o	32 mm
13	14^o	30 mm
14	16^o	35 mm
15	13^o	34 mm
16	10^o	40 mm
Arithmet. Mittel	$12,8^o$	34,8 mm

Tab.1

Neigungswinkel ε und y-Achsenabschnitt y_o in 16 lateralen Fernröntgenbildern des Semesters "B". Diese Meßwerte sind in Abb.7 graphisch dargestellt.

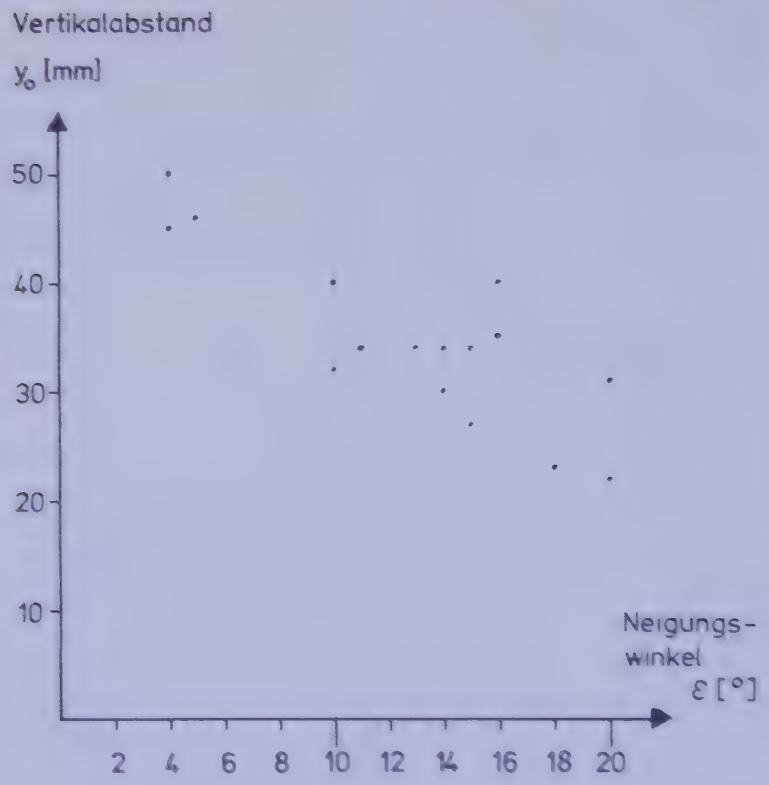


Abb.7

Korrelation zwischen dem Neigungswinkel ε (vgl. Abb.6) der Kauebenen und dem Vertikalabstand der Kauebenen vom Scharnierachsenpunkt (= y-Achsenabschnitt y_o).

Je größer dieser Vertikalabstand y_o wird, desto flacher verläuft die Kauebene gegenüber der Achse-Orbital-Ebene.

Die in den Fernröntgenbildern gemessenen Daten legten die Vermutung einer Korrelation zwischen Neigungswinkel ε und y-Achsenabschnitt y_o nahe. Aus der geschätzten Regressionsgeraden der vermuteten Korrelation isolierten wir Wertepaare für drei verschiedene Kauebenen:

Typ	y_o (mm)	ε (°)
steil	23	20
mittel	33	15
flach	40	10

Abbildung 8 zeigt die Spurgeraden dieser drei Kauebenen.

Weiterhin wurden aus den Fernröntgenbildern Durchschnittswerte für die Lage zweier okklusaler Referenzpunkte ermittelt (Abb.8).

Incisalpunkt $x_i = + 80$ mm
Molarenpunkt $x_m = + 50$ mm

Die dazugehörigen y-Werte y_i, y_m ergeben sich durch Einsetzen von x_i, x_m in die Gleichung der jeweiligen Kauebene.

Durch die Definition des Koordinatensystems liegt für den Incisalpunkt der z-Wert $z_i = 0$ fest.
Der z-Wert für den Molarenpunkt, der dem transversalen Abstand des Molarenpunktes von der Raphe-Median-Ebene entspricht, wurde an den Kiefermodellen der geröntgten Studenten mit durchschnittlich $z_m = \pm 25$ mm (links/rechts) gemessen.

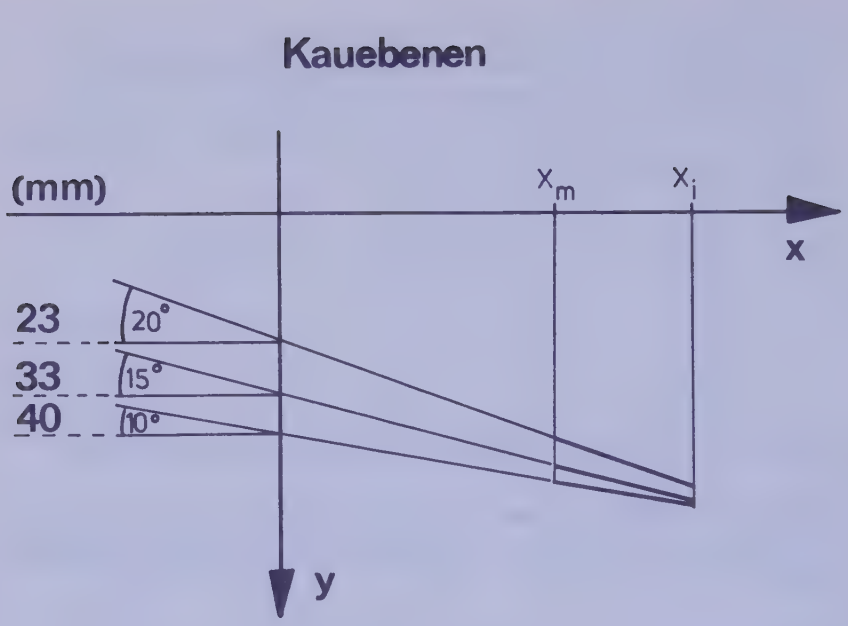


Abb. 8

Die drei aus Fernröntgenbildern ermittelten Kauebenen, die zur weiteren Berechnung verwendet wurden, in transversaler Projektion.
Weiterhin sind die x-Koordinaten des Incisalpunktes (x_i) und des Molarenpunktes (x_m) eingezeichnet.

4.3. Einfluß fehlregistrierter Scharnierachsenpunkte auf die Artikulatormontage

Unsere Fragestellung lautete:
Welche okklusalen Fehler entstehen bei der Artikulatormontage durch fehlregistrierte Scharnierachsenpunkte, wenn nach dem Eingipsen der Modelle in den Artikulator das Registrat (intraorales Wachsregistrat, zentraler Stützstift etc.) entfernt und die korrekte Vertikaldimension eingestellt wird?

4.3.1 Untersuchte Parameter

Die Berechnungen des okklusalen Fehlers wurden für räumlich beliebig verteilte fehlregistrierte Scharnierachsenpunkte durchgeführt und im Computerausdruck dargestellt.
Aus Gründen der Übersichtlichkeit beschränken wir uns in der vorliegenden Arbeit auf folgende "schematische" Scharnierachsen-Fehlregistrierungen (Abb. 9).

Horizontale Translation: Die fehlregistrierten Achsenpunkte sind rechts und links um gleichgroße Beträge und gleichsinnig auf der x-Achse verschoben. Es resultiert eine Parallelverschiebung der Scharnierachse nach ventral oder dorsal.

Vertikale Translation: Die fehlregistrierten Achsenpunkte sind rechts und links um gleichgroße Beträge und gleichsinnig auf der y-Achse verschoben. Es resultiert eine Parallelverschiebung der Scharnierachse nach cranial oder caudal.

Horizontale Schwenkung: Die fehlregistrierten Achsenpunkte sind rechts und links um gleichgroße Beträge, aber gegensinnig auf der x-Achse verschoben. Es resultiert eine Rotation der Scharnierachse um den Koordinatenursprung (0/0/0).

Vertikale Kippung: Die fehlregistrierten Achsenpunkte sind rechts und links um gleichgroße Beträge, aber gegensinnig auf der y-Achse verschoben. Es resultiert eine Rotation der Scharnierachse um den Koordinatenursprung (0/0/0).

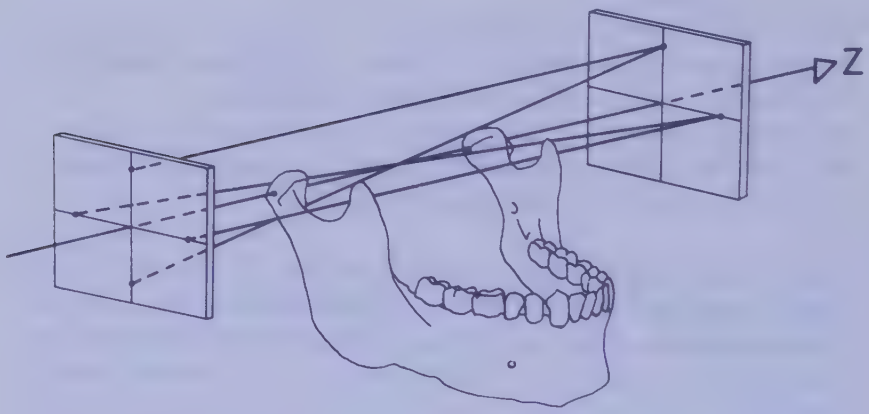


Abb. 9
Schematische Darstellung der angenommenen Scharnierachsen-Fehlregistrierungen:
Horizontale Translation, Vertikale Translation,
Horizontale Schwenkung, Vertikale Kippung.

Der Registrierfehler durchlief für x und y die Werte - 10 mm bis + 10 mm. Damit erfaßten wir die fehlregistrierten Scharnierachsenpunkte auf der Haut in einem Bereich von 20 mm x 20 mm, der in Abb. 10 durch das Millimeterpapier dargestellt ist (die Nadel des Achsenlokalisators zeigt auf den exakten Scharnierachsenpunkt).

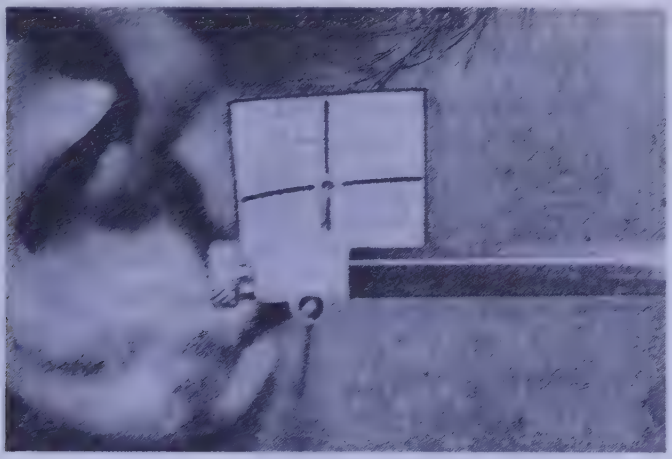


Abb. 10
Der im Rechenmodell angenommene Registrierfehlerbereich (Größe 20 mm x 20 mm) wird hier durch das Millimeterpapier demonstriert.

Die Berechnungen wurden für drei ausgewählte Kauebenen (Vgl. 4.2) durchgeführt, die sich im Neigungswinkel und Abstand zur Achse-Orbital-Ebene unterschieden.

Die durch das Registrat verursachte Bißsperrung wurde von 1 - 10 mm variiert.

Alle Berechnungen erfolgten für den Incisalpunkt und einen Molarenpunkt.

Als Ergebnis wurde der okklusale Fehler im Computerausdruck in seinen Komponenten Delta x, Delta y und Delta z dargestellt.

Zusammenfassend berücksichtigte unsere mathematische Analyse folgende Parameter:

INPUT: Fehlregistrierung der Scharnierachse:

1. Horizontale Translation
2. Vertikale Translation
3. Horizontale Schwenkung
4. Vertikale Kippung

Registrierfehler x,y -10mm ... +10mm
3 Kauebenen (y_0, ε)
Bißsperrung 1...10mm
Incisalpunkt, Molarenpunkt

OUTPUT: Okklusaler Fehler (Komponenten Δx, Δy, Δz)

4.3.2. Computerprogramm [1)]

Die Problemstellung lautete: Nach einer Öffnungs-Drehbewegung um die Patienten-Scharnierachse um den Winkel φ wird ein Punkt um eine veränderte Achse "zurückgedreht". An welcher Stelle trifft er dabei wieder auf die Kauebene? Zur Lösung wurde folgender allgemeiner mathematischer Ansatz gewählt: Um eine Achse A wird ein Punkt P um den Winkel φ gedreht (Abb. 11). Zum Punkt P führt der Ortsvektor

$$\vec{p} = (p_1, p_2, p_3)$$

Die Achse A ist gegeben durch den Achsenpunkt X mit dem Ortsvektor

$$\vec{x} = (x_1, x_2, x_3)$$

und den Einheitsvektor in Achsenrichtung

$$\vec{e} = (e_1, e_2, e_3)$$

Für das Lot von P auf die Achse A gilt:

$$\vec{a} = \vec{p} - \vec{q}$$

Zum Fußpunkt Q des Lotes von P auf Achse A führt der Ortsvektor

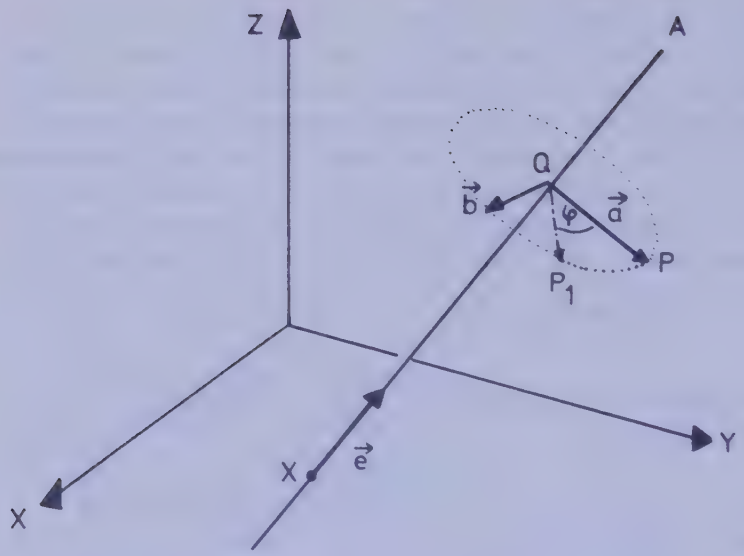
$$\vec{q} = \vec{x} + \vec{e} \cdot t$$

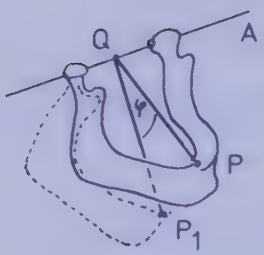
Da der Lotvektor $\vec{a}$ auf der Achse A und damit auf dem Einheitsvektor $\vec{e}$ senkrecht steht, ist das Skalarprodukt beider Vektoren gleich Null:

$$\vec{a} \cdot \vec{e} = 0$$

---

1) Das Computerprogramm baute Herr Dipl.-Math. W. Klemt vom Zentrum für Datenverarbeitung der Universität Tübingen auf.





A = Scharnierachse
Q = Lotfußpunkt auf der Achse
P = Okklusaler Referenzpunkt (z.B. Incisalpunkt)
φ = Öffnungswinkel der Scharnierbewegung
P_1 = Okklusaler Referenzpunkt nach der Öffnungsbewegung um den Winkel φ .

Abb. 11: Allgemeiner mathematischer Ansatz zur Berechnung des okklusalen Fehlers bei fehlregistrierten Scharnierachsenpunkten nach Bißsperrung (zur Kieferrelationsbestimmung). Zur Orientierung sind die entsprechenden Größen am Unterkiefermodell wiedergegeben.

Daraus folgt für Parameter t :

$$\vec{a} \cdot \vec{e} = \sum_{i=1}^{3} a_i \cdot e_i$$

$$= \sum_{i=1}^{3} (p_i - q_i) \cdot e_i$$

$$= \sum_{i=1}^{3} (p_i - x_i - e_i \cdot t) \cdot e_i$$

$$= \sum_{i=1}^{3} (p_i - x_i) \cdot e_i - t \sum_{i=1}^{3} e_i^2 = 0$$

$$t = \sum_{i=1}^{3} (p_i - x_i) \cdot e_i$$

Die Vektoren

$$\vec{a} = \vec{p} - \vec{q} \quad \text{und} \quad \vec{b} = \vec{a} \times \vec{e} \text{ (Vektorprodukt)}$$

stehen senkrecht aufeinander und spannen die Drehebene auf. Für den um den Winkel φ gedrehten Punkt P_1 mit dem Ortsvektor $\vec{p}_1$ gilt folgende Gleichung:

$$\vec{p}_1 = \vec{q} + \vec{a} \cdot \cos\varphi + \vec{b} \cdot \sin\varphi$$

Das Programm wurde in der Sprache ALGOL 60 geschrieben und auf der Rechenanlage TR 440 (CGK) des Zentrums für Datenverarbeitung der Universität Tübingen gerechnet.

4.3.3. Ergebnisse der Untersuchung über den Einfluß fehlregistrierter Scharnierachsenpunkte auf die Artikulatormontage nach vorangegangener Bißsperrung.

4.3.3.1. Variation des Registrierfehlers

Der okklusale Fehler wurde im Computerausdruck in seinen Komponenten Δx, Δy und Δz dargestellt; d.h. die räumliche Verschiebung des okklusalen Referenzpunktes wird getrennt in Richtung der jeweiligen Koordinatenachsen x, y und z betrachtet.
Da die Darstellung aller in den Computertabellen ausgedruckten Ergebnisse (Abb. 12 zeigt einen Ausschnitt aus dem umfangreichen Computerausdruck) den Rahmen der vorliegenden Arbeit überschreiten würde, werden jeweils nur bestimmte Bißsperrungswerte und Kauebenen behandelt, die jedoch alle für die mathematischen Aussagen gleichermaßen repräsentativ sind und nicht etwa auffällige Abweichungen zeigen.
Noch eine Vorbemerkung zur Proportionalität zwischen Registrierfehler und okklusalem Fehler: Die graphischen Darstellungen der okklusalen Differenzen als Funktion des Achsenregistrierfehlers im Kiefergelenkbereich zeigen einen ungefähr linearen Verlauf. Dies würde mathematisch einer direkten Proportionalität beider Größen entsprechen. Jedoch besteht ein exakter linearer Zusammenhang zwischen Achsenregistrierfehler und okklusalem Fehler deshalb nicht, da sich bei unterschiedlichen Achsenlokalisationen verschiedene Radien der Scharnierbewegung ergeben.
Mit wachsendem negativem Registrierfehler wird der Zuwachs des okklusalen Fehlers geringgradig kleiner. Bei wachsendem positivem Registrierfehler steigt die Zuwachsrate (Absolutbetrag) des okklusalen Fehlers umso mehr, je kleiner der Abstand zwischen Scharnierachse und okklusalem Referenzpunkt wird.

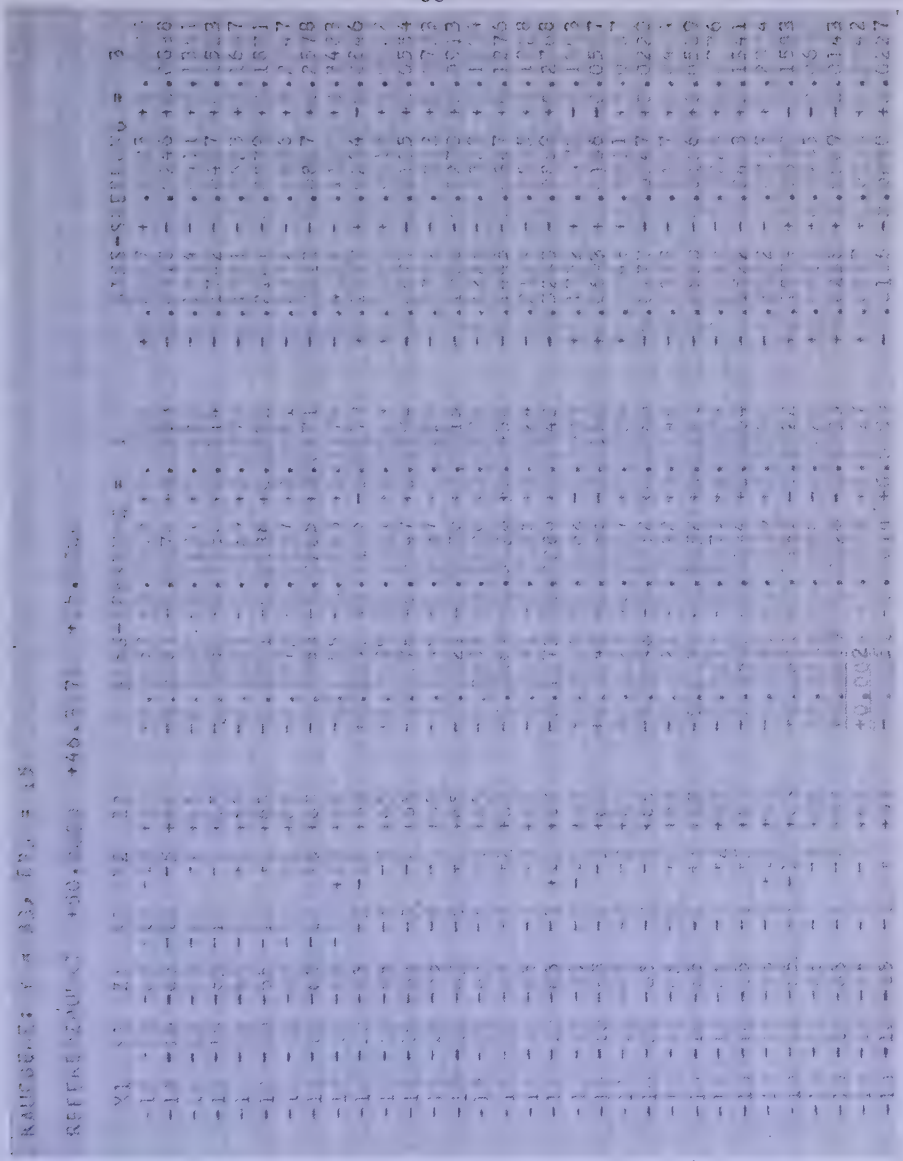


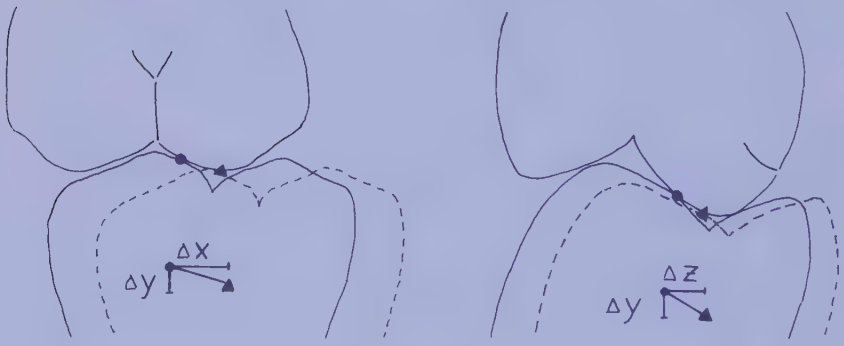
Abb. 12: Ausschnitt aus einer Computertabelle. Die ersten sechs Spalten von links geben die Koordinaten der fehlregistrierten Scharnierachsenpunkte wieder. Anschließend sind die okklusalen Fehlerkomponenten Δx, Δy und Δz für bestimmte Bißsperrungswerte (hier 1 mm und 3 mm) ausgedruckt.

Deshalb sind Achsenregistrierfehler und okklusaler Fehler nur annähernd proportional. Der Fehlbetrag zur exakten direkten Proportionalität liegt in der Größenordnung 1 - 5 µm.

Bei den folgenden Abbildungen (13, 14, 15, 17, 19) ist auf der Abszisse jeweils der Registrierfehler x bzw. y in Millimetern aufgetragen. Auf der Ordinate durchläuft der okklusale Fehler die Werte von - 400 Mikrometer bis + 400 Mikrometer.

Entsprechend den Achsenrichtungen des dreidimensionalen Koordinatensystems ist der okklusale Fehler in

eine sagittale Komponente	Δ x,	
eine vertikale Komponente	Δ y	und
eine transversale Komponente	Δ z	aufgeteilt:



OK re 1. Molar
UK re 1. Molar

Ansicht von buccal — Ansicht von mesial

Ideale (•) und fehlerhafte (▲---) Okklusion aufgrund einer fehlregistrierten Scharnierachse am Beispiel eines isolierten antagonistischen Kontaktpaares. Die Differenz zwischen beiden Positionen (• - ▲) ergibt den okklusalen Fehler.

4.3.3.1.1. Horizontale Translation der Scharnierachse

Bei der horizontalen Translation der Scharnierachse, d.h. einer Parallelverschiebung der Achse in sagittaler Richtung, vergrößert sich der okklusale Fehler gleichmäßig mit steigendem Registrierfehler.

Wie die Abbildungen 13 und 14 zeigen, ist der okklusale Fehler am angenommenen Molarenpunkt (weiße Säule) fast doppelt so groß wie am Incisalpunkt (schwarze Säule). Ein Vergleich von Abb. 13 mit Abb. 14 macht weiterhin deutlich, daß die aus der Neigung der Kauebene resultierende vertikale okklusale Fehlerkomponente Δy gegenüber der horizontalen Fehlerkomponente Δx relativ klein ist.

Registrierfehler im Kiefergelenkbereich und okklusale Fehler weisen hier eine gleichsinnige Orientierung auf: Bei einem positiven Registrierfehler, also einer nach ventral verschobenen Scharnierachse, schließt das Unterkiefermodell im Artikulator in einer nach anterior verschobenen Kontaktposition. Entsprechend bewirkt eine nach dorsal verschobene Scharnierachse, daß das Unterkiefermodell im Artikulator in einer nach posterior verschobenen Kontaktposition schließt.

Ein Zahlenbeispiel: Wird die Scharnierachse um 5 mm zu weit nach ventral registriert, so verschiebt sich unter den angegebenen Bedingungen der gewählte Molarenpunkt des Unterkiefermodells bei der Artikulatormontage um 181,5 µm nach ventral und um 48,6 µm nach caudal.

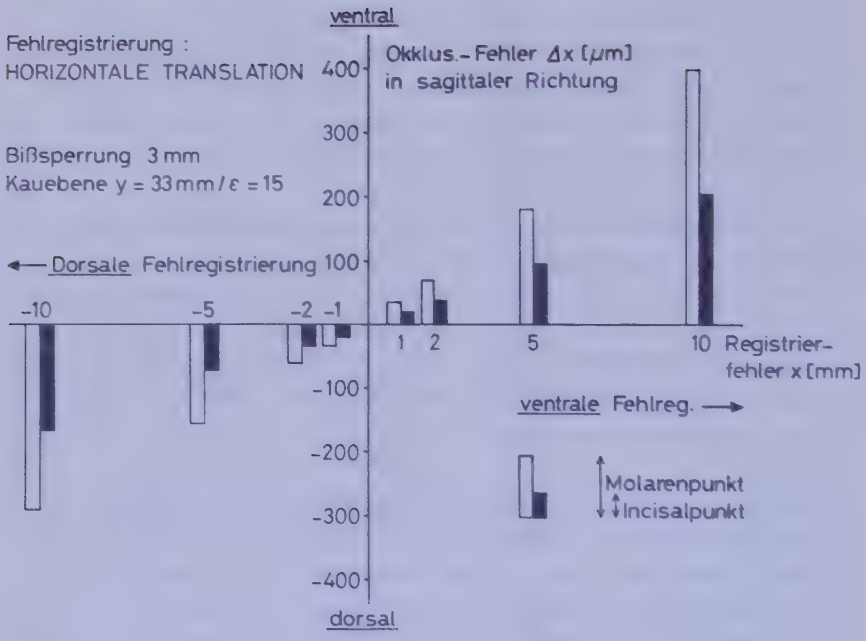


Abb. 13

Okklusaler Fehler in sagittaler Richtung (Ordinate), der bei einer Fehlregistrierung (Abszisse) der Scharnierachse im Sinne einer horizontalen Translation entsteht. Die Werte gelten für die mittlere Kauebene (33 mm / 15°) und für eine durch die Kieferrelationsbestimmung verursachte Bißsperrung von 3 mm. Der Koordinatenursprung (Nullpunkt) entspricht einer fehlerfreien "idealen" Scharnierachsenregistrierung.

Der sagittale okklusale Fehler vergrößert sich gleichmäßig mit steigendem Registrierfehler und ist am Molarenpunkt (weiße Säule) fast doppelt so groß wie am Incisalpunkt (schwarze Säule).

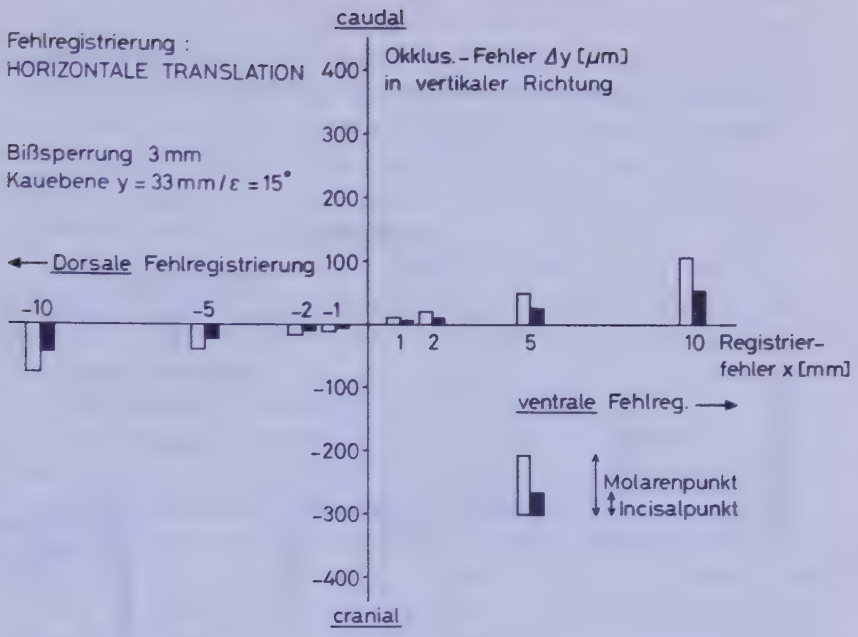


Abb. 14

Okklusaler Fehler in vertikaler Richtung (Ordinate), der bei einer Fehlregistrierung (Abszisse) der Scharnierachse im Sinne einer horizontalen Translation entsteht.
Die Werte gelten für die mittlere Kauebene (33 mm / 15°) und für eine durch die Kieferrelationsbestimmung verursachte Bißsperrung von 3 mm. Der Koordinatenursprung (Nullpunkt) entspricht einer fehlerfreien "idealen" Scharnierachsenregistrierung.

Der vertikale okklusale Fehler vergrößert sich gleichmäßig mit steigendem Registrierfehler und ist am Molarenpunkt (weiße Säule) fast doppelt so groß wie am Incisalpunkt (schwarze Säule).
Dieser vertikale okklusale Fehler erreicht jedoch nur einen Bruchteil der Größe des sagittalen okklusalen Fehlers, der in Abb. 13 dargestellt ist.

4.3.3.1.2. Vertikale Translation der Scharnierachse

Hier ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der horizontalen Translation: der okklusale Fehler steigt gleichmäßig mit dem Registrierfehler an (Abb. 15).

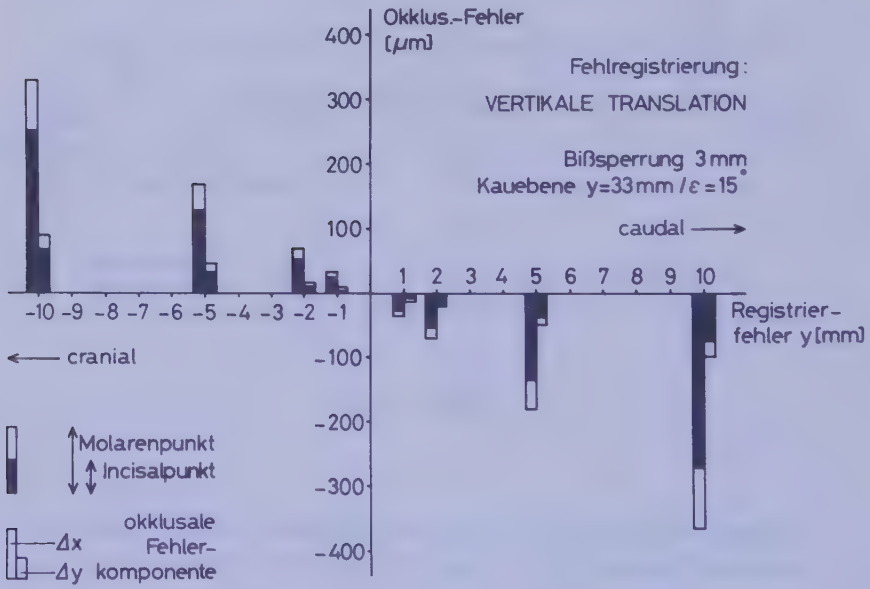


Abb. 15 zeigt die durch eine vertikale Translation der Scharnierachse entstehenden okklusalen Fehler bei 3 mm Bißsperrung durch das Registrat und der mittleren Kauebene (33 mm / 15°).

Δ x ist die sagittale okklusale Fehlerkomponente und Δ y die dazugehörige vertikale Fehlerkomponente.

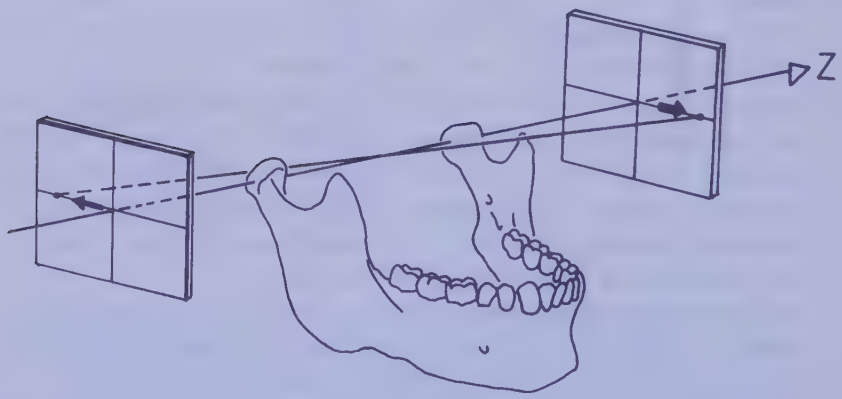
Auch hier hat eine Zunahme des Registrierfehlers einen kontinuierlich ansteigenden okklusalen Fehler zur Folge.

Wesentliche Unterschiede zur horizontalen Translation sind:
a) Registrierfehler und okklusale Fehler haben entgegengesetzte Vorzeichen. Dies bedeutet, daß eine Kranialverschiebung der Scharnierachse bei der Artikulatormontage eine nach anterior verschobene Kontaktposition des Unterkiefermodells bewirkt. Entsprechend führt eine Kaudalververschiebung der Scharnierachse zu einer nach posterior verschobenen Unterkieferposition.
b) Der okklusale Fehler für den Incisalpunkt ist bei der vertikalen Translation relativ größer als bei der horizontalen Translation. Er beträgt ungefähr 3/4 des Fehlers für den Molarenpunkt.

Bei den bis jetzt besprochenen Fehlregistrierungen (horizontale und vertikale Translation) handelte es sich um den Idealfall einer symmetrischen Parallelverschiebung der Scharnierachse nach ventral, dorsal, cranial oder caudal.
Welche Auswirkungen hat jedoch eine Fehlregistrierung im Sinne einer Rotation der Scharnierachse?
Wir greifen hier den Fall der horizontalen Schwenkung und der vertikalen Kippung heraus. Gegenüber den bisher diskutierten Fällen verstärkt sich dabei der okklusale Fehler um eine transversale Komponente Δz. Entsprechend der z-Achsenrichtung bedeutet dies eine Lateralverschiebung des Unterkiefermodells im Artikulator.
Die okklusale Fehlerkomponente Δz ist um ein mehrfaches größer als Δx und Δy und weist ein zu ihnen entgegengesetztes Vorzeichen auf. Sowohl bei der horizontalen Schwenkung als auch bei der vertikalen Kippung nehmen alle okklusalen Fehlerkomponenten mit steigendem Registrierfehler gleichmäßig zu (Abb. 17 und Abb. 19). In diesen beiden Abbildungen sind auf der Abszisse jeweils gleichzeitig die Werte für den rechten (x_1, y_1) und den linken Registrierfehler (x_2, y_2) aufgetragen.

4.3.3.1.3. Horizontale Schwenkung der Scharnierachse

Wird die Scharnierachse rechts nach dorsal und links nach ventral geschwenkt (Abb. 16), so resultieren negative Δz - Werte, d.h. bei der Artikulatormontage erfährt der okklusale Referenzpunkt auf dem Unterkiefermodell primär eine transversale Verschiebung nach rechts. Die Umkehrung gilt entsprechend.
Wie aus Abbildung 17 zu entnehmen ist, erreicht die okklusale Fehlerkomponente Δz am Incisalpunkt fast genauso große Werte wie am Molarenpunkt. Dagegen sind Δx und Δy für den Incisalpunkt praktisch gleich Null.
Alle drei okklusalen Fehlerkomponenten steigen annähernd proportional mit zunehmendem Registrierfehler.



Horizontale Schwenkung der Achse

Abb. 16

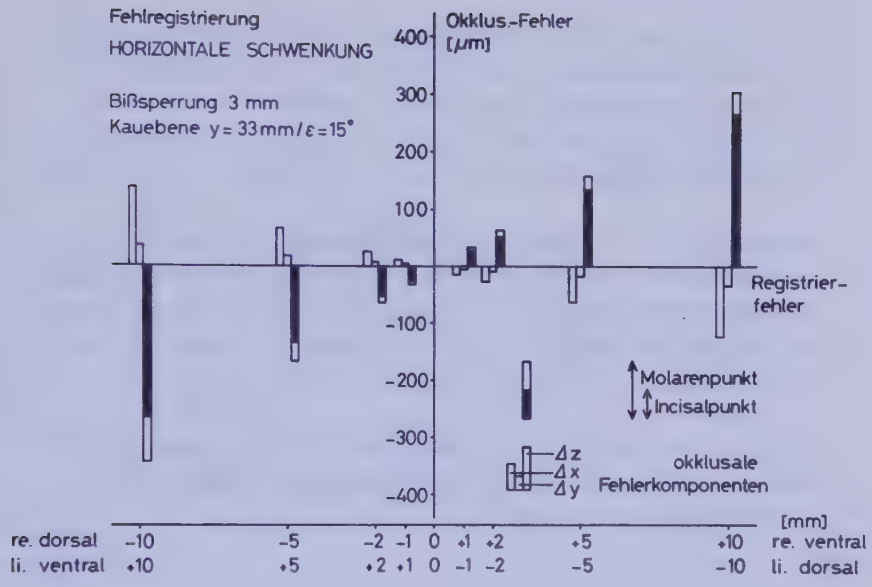


Abb. 17 zeigt die durch eine horizontale Schwenkung der Scharnierachse entstehenden okklusalen Fehler bei 3 mm Bißsperrung durch das Registrat. Mittlere Kauebene (33 mm / 15°).

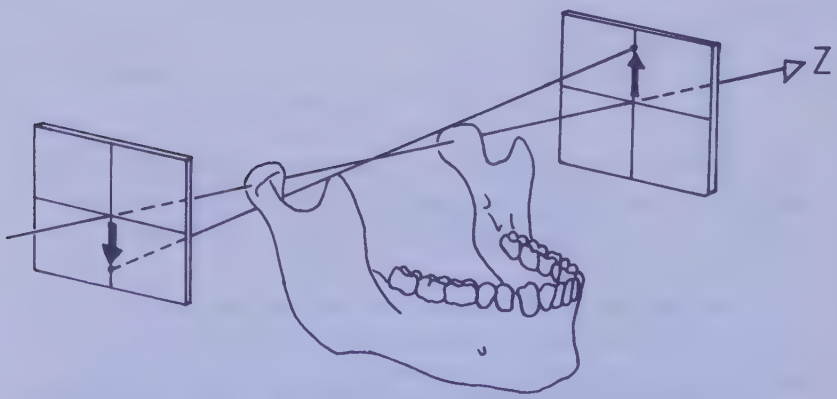
Δ x ist die sagittale okklusale Fehlerkomponente, Δ y die dazugehörige vertikale okklusale Fehlerkomponente. Die transversale Fehlerkomponente Δ z, die die Lateralverschiebung des entsprechenden Unterkieferpunktes im Artikulator angibt, ist um ein mehrfaches größer als Δ x und Δ y. Mit steigendem Registrierfehler erfolgt eine gleichmäßige Zunahme aller okklusalen Fehlerkomponenten.

4.3.3.1.4. Vertikale Kippung der Scharnierachse

Eine rechts nach caudal und links nach cranial gerichtete vertikale Kippung der Scharnierachse (Abb. 18) bewirkt bei der Artikulatormontage einen negativen Δz - Wert, d.h. das Unterkiefermodell erfährt eine Lateralverschiebung nach rechts. Wiederum gilt die Umkehrung entsprechend.

Gegenüber den anderen Scharnierachsenvariationen tritt bei der vertikalen Kippung eine Besonderheit auf: Die okklusale Fehlerkomponente Δz ist für den Incisalpunkt größer als für den Molarenpunkt. Am Incisalpunkt nehmen Δx und Δy praktisch den Wert Null an (Abb. 19).

Auch bei der vertikalen Kippung der Scharnierachse erhöht sich der okklusale Fehler annähernd proportional mit zunehmendem Registrierfehler.



Vertikale Kippung der Scharnierachse

Abb. 18

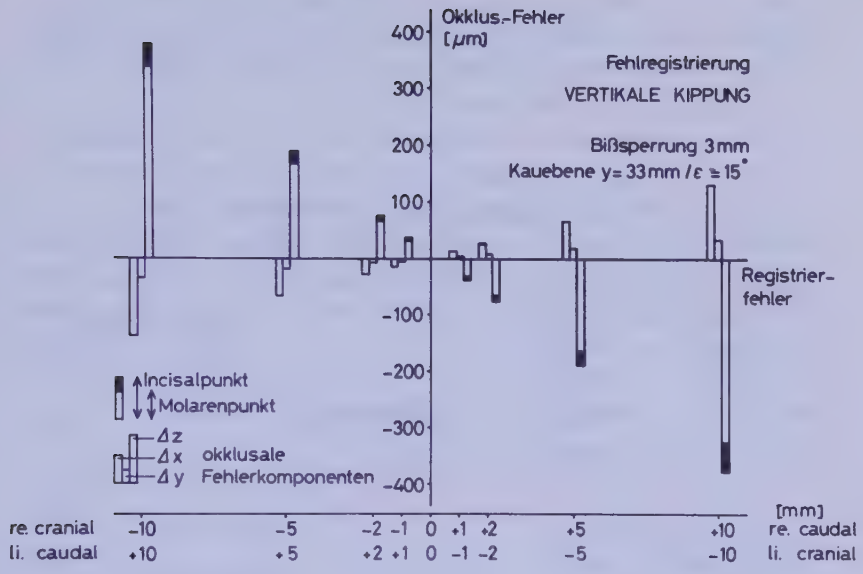


Abb. 19 zeigt die durch eine vertikale Kippung der Scharnierachse entstehenden okklusalen Fehler, wenn die Bißsperrung bei der Kieferrelationsbestimmung 3 mm beträgt. Mittlere Kauebene (33 mm / 15°).

Δ x ist die sagittale Fehlerkomponente, Δ y die dazugehörige vertikale Fehlerkomponente.
Die transversale Fehlerkomponente Δ z, die die Lateralverschiebung des entsprechenden Unterkieferpunktes angibt, ist bei der vertikalen Kippung der Scharnierachse am Incisalpunkt größer als am Molarenpunkt.

4.3.3.2. Variation der Bißsperrung

Eine weitere Teiluntersuchung im Rahmen unserer ersten Fragestellung befaßte sich mit der Auswirkung unterschiedlicher Bißsperrungswerte (bei der Kieferrelationsbestimmung) auf den okklusalen Fehler:
Bei vorgegebenem Registrierfehler bewirkt eine Erhöhung der Bißsperrung - in unserem Rechenmodell bis 10 mm - eine gleichmäßige Zunahme des okklusalen Fehlers.
Jedoch besteht kein exakter linearer Zusammenhang zwischen entscheidender okklusaler Fehlerkomponente - im Falle der Achsenparallelverschiebungen Δx, bei den Achsenrotationen Δz - und der Bißsperrung.

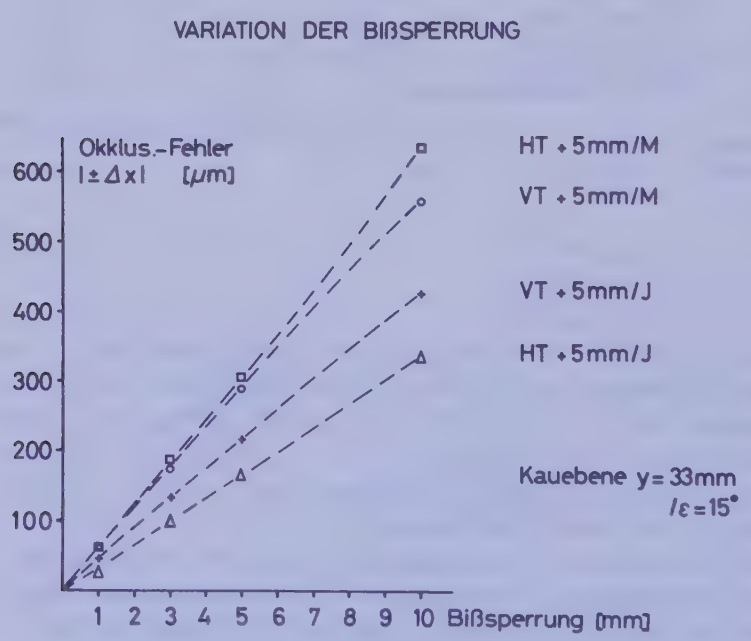


Abb. 20: Sagittale okklusale Fehlerkomponente Δx am Incisalpunkt (I) und am Molarenpunkt (M) bei Erhöhung der Bißsperrung. Fehlregistrierung der Scharnierachse im Sinne einer horizontalen (HT) bzw. vertikalen (VT) Translation um + 5 mm.

Wie die Abbildungen 20 und 21 zeigen, liegen bei 5 mm Registrierfehler die Zuwachsraten des okklusalen Fehlers pro 1 mm Bißsperrung je nach Referenzpunkt und Art der Scharnierachsenvariation zwischen 30 µm und 60 µm.

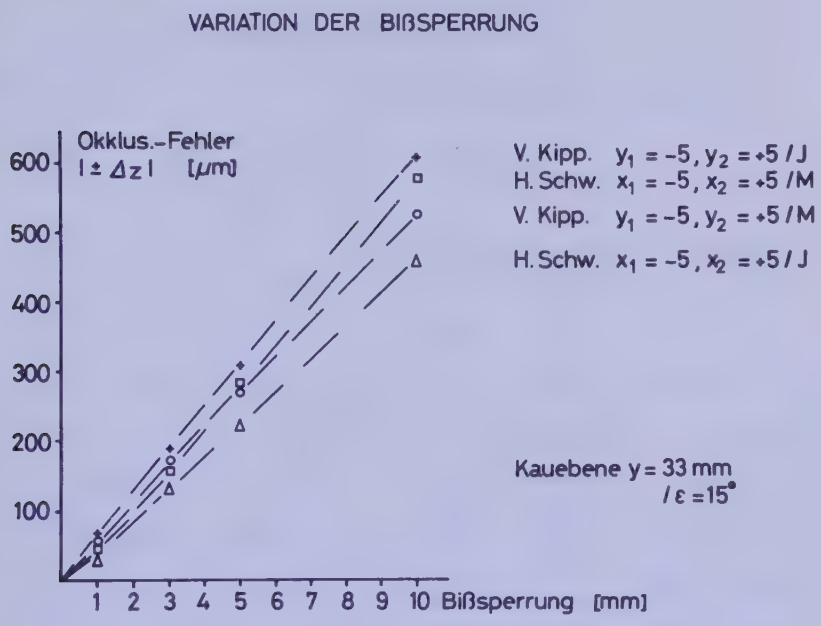


Abb. 21: Transversale okklusale Fehlerkomponente Δ z am Incisalpunkt (I) und am Molarenpunkt (M) bei Erhöhung der Bißsperrung. Fehlregistrierung der Scharnierachse im Sinne einer horizontalen Schwenkung (H.Schw.) bzw. einer vertikalen Kippung (V.Kipp).

4.3.3.3. Variation der Kauebene

Untersucht wurde, ob und wie sich der okklusale Fehler ändert, wenn die Kauebene im Neigungswinkel und Abstand zur Achse-Orbital-Ebene verändert wird (vgl. Abschnitt 4.2., Festlegung der Bezugsgrößen).

Da die okklusalen Fehlerkomponenten Δx, Δy und Δz selbst schon von der Neigung der Kauebene abhängig sind und keine direkte Aussage über den Fehler ermöglichen, wurde hier der absolute okklusale Fehler

$$f = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$$

berechnet (Tabelle 2 und Abb. 22).

Achsen-variation	Kauebene		
	40/10	33/15	23/20
Horiz.Transl.	0,2023 mm	0,1878 mm	0,1736 mm
Vertik.Transl.	0,1851 mm	0,1827 mm	0,1915 mm
Horiz. Schwenk.	0,1739 mm	0,1687 mm	0,1583 mm
Vertik. Kipp.	0,1750 mm	0,1777 mm	0,1866 mm

Tab. 2: Absoluter okklusaler Fehler bei Variation der Kauebene. Werte für 3 mm Bißsperrung, 5 mm Registrierfehler, Molarenpunkt.

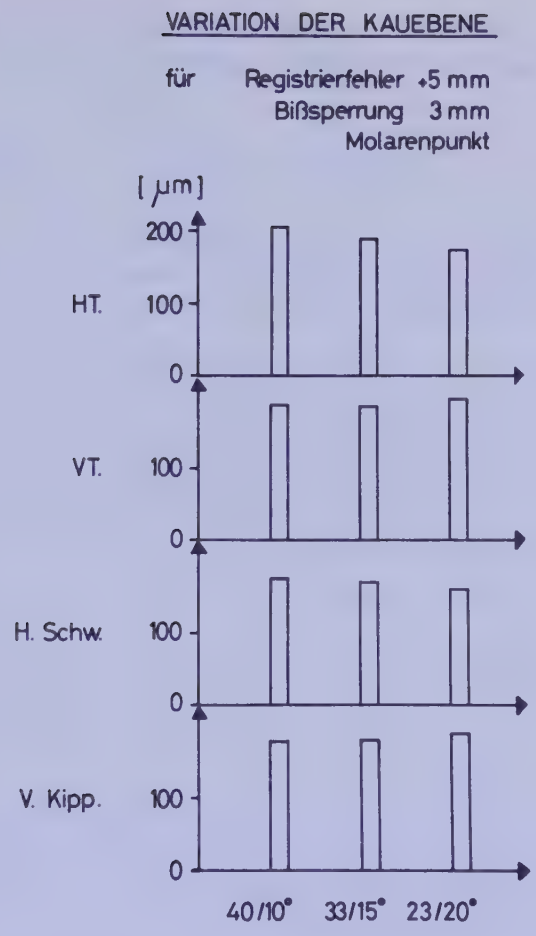


Abb. 22: Absoluter okklusaler Fehler bei Variation der Kauebene im Neigungswinkel und Abstand zur Achse-Orbital-Ebene. Für jede der 4 Achsenvariationen (horizontale und vertikale Translation, horizontale Schwenkung und vertikale Kippung) sind auf der Abszisse die drei untersuchten Kauebenen, auf der Ordinate die absoluten okklusalen Fehler jeweils von 0 - 200 µm aufgetragen.
Der absolute okklusale Fehler erfährt durch die Variation der Kauebene nur geringfügige Änderungen.

Es zeigt sich, daß die Variation der Kauebene nur geringfügige Änderungen des okklusalen Fehlers verursacht (Abb. 22).
Auffällig ist dabei eine leichte Verringerung des okklusalen Fehlers bei zunehmendem Neigungswinkel und abnehmendem y-Achsenabschnitt, wenn eine horizontale Scharnierachsenfehlregistrierung erfolgt. Umgekehrt zeigt sich eine leichte Zunahme des okklusalen Fehlers (mit einer Ausnahme) bei der vertikalen Translation und vertikalen Kippung.

Nicht berücksichtigt wird an dieser Stelle, daß neben den Auswirkungen auf die Okklusionsverhältnisse der Artikulatormontage eine unkorrekte Registrierung der Kauebene - z.B. durch Fehlregistrierung des Orbitalpunktes - primär zu einer veränderten Kondylenbahnneigungs-Einstellung im Artikulator führt.

4.4. ABWEICHUNG DER LATERALBEWEGUNGSBAHN

des Unterkiefer-Incisalpunktes bei fehlregistrierten Scharnierachsenpunkten.

4.4.1. Mathematisches Modell

Erfolgt eine UK-Lateralbewegung im Artikulator nicht um das gleiche räumliche Rotationszentrum wie beim Patienten, so resultiert daraus eine räumliche Abweichung beider Lateralbewegungsbahnen voneinander.
Unsere dreidimensionale Analyse hat das Ziel, die räumliche Abweichung der Lateralbewegungsbahn des UK-Incisalpunktes zu berechnen, die bei einer rotatorischen Rechtslateralbewegung aus der Schlußokklusion heraus auftritt.

Es wird das gleiche dreidimensionale rechtwinklige Koordinatensystem wie im vorherigen Abschnitt verwandt.

Um die Vielzahl der klinisch variablen Parameter auf ein einfaches mathematisches Modell zu reduzieren, gingen wir von folgenden Voraussetzungen aus:

Der Abstand zwischen dem Haut- Scharnierachsenpunkt und dem Rotationszentrum innerhalb des Kondylus wird als konstante Größe berücksichtigt. Wir legten die Annahme zugrunde, daß sich das Rotationszentrum des Kondylus 8 mm medial vom registrierten Haut-Scharnierachsenpunkt befindet:

$$|z_R| = |z| - 8 \text{ mm}$$

Nicht berücksichtigt wird die Bennett-Lateralbewegung. Vorausgesetzt wird weiterhin, daß die Bewegung allein durch Gelenkführung bestimmt ist, nicht durch Zahnführung.

Außerdem wird die Gelenkführungsfläche auf der Nichtarbeitsseite als Ebene betrachtet (entsprechend der Situation bei halbindividuellen Artikulatoren). Dann ist die Bewegung definiert durch:

1. Die räumliche Lage des Rotationszentrums R im Kondylus der Arbeitsseite. Koordinaten: R $(x_R/y_R/z_R)$.
2. Die räumliche Lage des Incisalpunktes I. Koordinaten: I $(x_i/y_i/z_i)$.
3. Den Gelenkbahn-Neigungswinkel α auf der Nichtarbeitsseite. Der Winkel α wird gemessen gegen die horizontale Achse-Orbital-Ebene.

Welche Bahn der Unterkiefer-Incisalpunkt unter den genannten Bedingungen beschreibt, läßt sich mit Hilfe folgender geometrischer Modellvorstellungen veranschaulichen (Abb. 23).
Ein fixes Rotationszentrum und zwei Punkte der Kondylenbahnebene auf der Nichtarbeitsseite bestimmen räumlich eine Ebene E_1. Die Rotationsbewegung bildet in dieser Ebene E_1 eine Kreisbahn K_1. Die dazugehörige Rotationsachse steht senkrecht auf dieser Kreisebene und ist bei ein und derselben Bewegung für alle Massepunkte des Unterkiefers gleich - also auch für den Incisalpunkt. Damit beschreibt der Incisalpunkt in unserem mathematischen Modell eine Kreisbahn K_2 in einer zu E_1 parallelen Ebene E_2.

Da bei fixem Rotationszentrum und konstantem Radius Punkte beliebiger Rotationsbewegungen auf einer Kugeloberfläche liegen, entsteht diese Kreisbahn des Incisalpunktes durch den Schnitt der Kugeloberfläche mit einer Ebene, die die gleiche Neigung ($\tan \alpha$) wie die Kondylenbahnebene, aber einen anderen Abstand zur Achse-Orbital-Ebene besitzt.

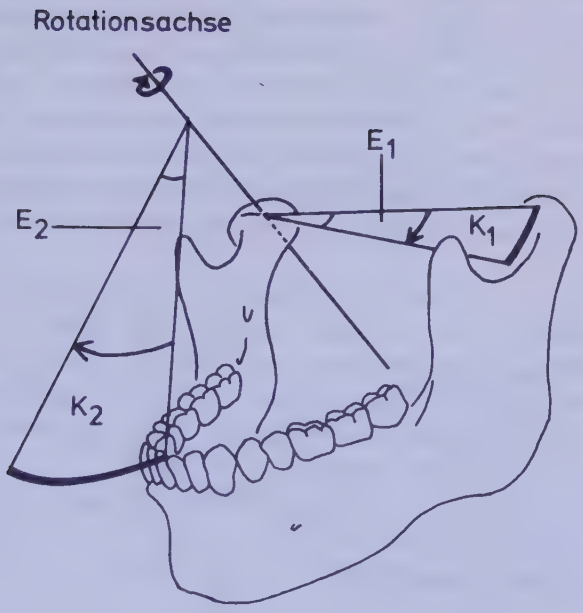


Abb. 23

Einfaches mathematisches Modell zur Berechnung einer hypothetischen Lateralbewegungsbahn.
Dabei beschreibt der Unterkiefer-Incisalpunkt einen Kreisbogen K_2 (in der Ebene E_2) um eine fiktive Rotationsachse, die senkrecht auf der angenommenen Kondylenbahnebene (E_1) steht.

Der Unterschied zwischen korrekter und abweichender Lateralbewegungsbahn wird durch die Koordinatendifferenzen der Schnittpunkte von einer Ebene z_L = const. und den verschiedenen Kreisbahnen ausgedrückt. Geometrisch veranschaulicht bedeutet dies: Bei einem festen Wert z_L (und x,y beliebig; dies stellt die Gleichung einer zur x,y-Koordinatenebene parallelen Ebene im Abstand z_L dar) wird die Lateralbewegung gestoppt. Für diesen festen Wert z_L werden die x,y-Differenzen der Lateralbewegung berechnet.
Ebenso wäre natürlich eine Angabe der Lateralbewegung in Winkelgraden möglich gewesen; dabei würde jedoch der Vorteil immer gleicher Öffnungswinkel dadurch aufgehoben, daß bei unterschiedlichen Radien (= Strecke Rotationszentrum - Incisalpunkt) verschieden lange Öffnungswege am Incisalpunkt resultieren.
Dagegen entspricht die von uns gewählte Eingabe des Lateralbewegungspunktes in einem z_L-Wert der klinischen Messung von Lateralbewegungen in mm-Werten.

4.4.2. Dateneingabe und Berechnung [1)]

Wir gingen von einer Fehlregistrierung der Scharnierachsenpunkte um ± 5 mm und ± 15 mm in sagittaler, vertikaler und transversaler Richtung aus (Abb. 24).
Wie dadurch die Lateralbewegungsbahn des Incisalpunktes von der Normalbahn abweicht, wird in Abbildung 25 am Beispiel einer transversalen Fehlregistrierung demonstriert.

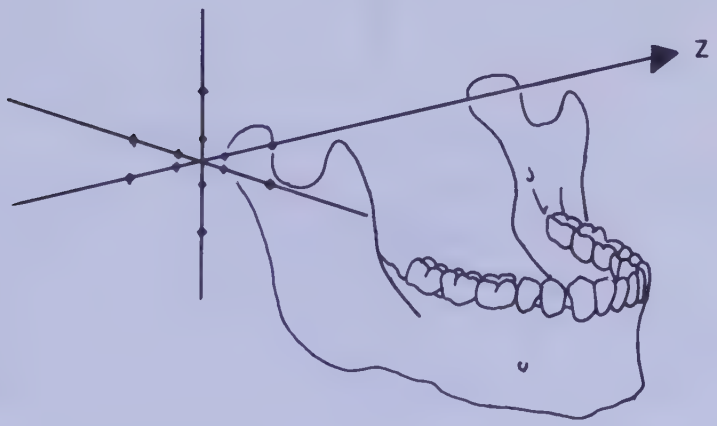
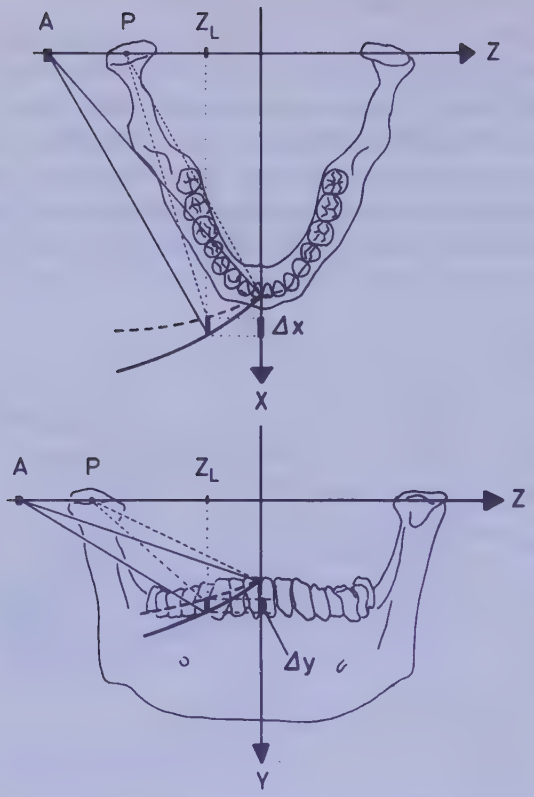


Abb. 24

Die Punkte auf den Koordinatenachsen im Kiefergelenkbereich geben die angenommenen Fehlregistrierungen der Haut-Scharnierachsenpunkte um ± 5 mm und ± 15 mm in sagittaler, vertikaler und transversaler Richtung wieder.

[1)] Die Dateneingabe in den programmierbaren Tischrechner Hewlett Packard 9820 A übernahm Herr Dipl.-Phys. D. Lukas vom Zentrum für Zahn,- Mund- und Kieferheilkunde der Universität Tübingen.



Rotationszentrum und Lateralbewegungsbahn

• Patient -------

■ Artikulator ———

Abb. 25

Transversale Fehlregistrierung der Scharnierachsenpunkte. Dies führt zu einer sagittalen Abweichung Δ x und einer vertikalen Abweichung Δ y der Lateralbewegungsbahn des Unterkiefer-Incisalpunktes.

z_L (hier übertrieben groß gezeichnet) gibt den "Haltepunkt" der Lateralbewegung an, bei welchem die Abweichungen der einzelnen Bahnen miteinander verglichen wurden.

Weiterhin wurden folgende konstanten Werte der Berechnung zugrunde gelegt:

1. Kondylenbahn-Neigungswinkel $\alpha = 40^{\circ}$
2. Incisalpunkt I der mittleren Kauebene (y_0=33 mm / ε =15°) mit den Koordinaten $x_i = + 80.0000$
   $y_i = + 54.4359$
   $z_i = 0$
3. Vom exakt registrierten rechten Scharnierachsenpunkt auf der Hautoberfläche ($z_1 = - 65$) wurde das exakte Rotationszentrum 8 mm nach medial verlagert angenommen ($z_R = - 57$).
   Entsprechend muß auch von den z - Koordinaten der fehlregistrierten Scharnierachsenpunkte diese Strecke subtrahiert werden:
   $$|z_R| = |z| - 8 \text{ mm}$$

Das Rotationszentrum R_n im Kondylus (bzw. im Artikulatorgelenk) nach der n-ten Fehlregistrierung hat die Koordinaten R_n ($x_R/y_R/z_R$).
Der Index n durchläuft die Werte 0 ... 12 und gibt die jeweilige Fehlregistrierung an; das korrekte Nullregistrat trägt den Index n=0. Dementsprechend ist R_0 das Rotationszentrum bei korrekt registriertem Scharnierachsenpunkt.

Berechnet werden die Differenzen der Lateralbewegung

$$\Delta x_{L_n} = x_L (R_n) - x_L (R_0)$$

$$\Delta y_{L_n} = y_L (R_n) - y_L (R_0)$$

bei vorgegebenem z_L-Wert.
Als "Nebenprodukt" soll der Radius r_n der jeweiligen Lateralbewegung angegeben werden.

Mathematischer Ansatz:

Der Bewegungsraum aller Punkte mit gleichem Abstand (Radius) um das Rotationszentrum R ($x_R/y_R/z_R$) des Kondylus wird durch die Gleichung einer Kugeloberfläche beschrieben:

$$(x - x_R)^2 + (y - y_R)^2 + (z - z_R)^2 = r^2$$

Die zur Kondylenbahnebene parallele Bewegungsebene des Incisalpunktes hat die Gleichung:

$$\{ (x,y,z);\ y = x \cdot \tan\alpha + b\ ;\ z \text{ beliebig} \}$$

Durch Einsetzen der Koordinaten des Incisalpunktes I ($x_i/y_i/0$) folgt für b :

$$b = y_i - x_i \cdot \tan\alpha$$

Für die Lateralbewegung (Index "L") des Incisalpunktes gilt:

$$(x_L - x_R)^2 + (y_L - y_R)^2 + (z_L - z_R)^2 = r^2$$

$$x_L^2 - 2x_Lx_R + x_R^2 + y_L^2 - 2y_Ly_R + y_R^2 + z_L^2 - 2z_Lz_R + z_R^2 = r^2$$

In dieser Gleichung kann der Radius r durch den räumlichen Abstand zwischen Rotationszentrum und Incisalpunkt ausgedrückt werden:

$$r = \overline{RI} = \sqrt{(x_i - x_R)^2 + (y_i - y_R)^2 + (z_i - z_R)^2}$$

Nach Subtraktion von ($x_R^2 + y_R^2 + z_R^2$) folgt:

$$x_L^2 - 2x_Lx_R + y_L^2 - 2y_Ly_R + z_L^2 - 2z_Lz_R =$$

$$= x_i^2 - 2x_ix_R + y_i^2 - 2y_iy_R + z_i^2 - 2z_iz_R$$

Die Lateralbewegungsbahn ergibt sich als "Schnitt" von Kugeloberfläche und Bewegungsebene des Incisalpunktes; mit Einsetzen von

$$y_L = x_L \cdot \tan\alpha + y_i - x_i \cdot \tan\alpha$$

erhalten wir die quadratische Gleichung

$$x_L^2 (1 + \tan^2\alpha) + x_L \cdot 2 \left[\tan\alpha (y_i - \tan\alpha \cdot x_i - y_R) - x_R \right]$$

$$+ 2 \tan\alpha \cdot x_i (y_R - y_i) + \tan^2\alpha \cdot x_i^2 + z_L^2 - x_i^2 - z_i^2$$

$$+ 2 (x_i x_R - z_L z_R + z_i z_R) = 0 \quad .$$

Diese quadratische Gleichung der allgemeinen Form

$$ax^2 + bx + c = 0$$

hat die Lösung

$$x_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

mit den Parametern

$$a = 1 + \tan^2\alpha$$

$$b = 2 \left[\tan\alpha (y_i - \tan\alpha \cdot x_i - y_R) - x_R \right]$$

$$c = 2 \tan\alpha \cdot x_i (y_R - y_i) + \tan^2\alpha \cdot x_i^2 + z_L^2 - x_i^2 - z_i^2$$

$$+ 2 (x_i x_R - z_L z_R + z_i z_R)$$

4.4.3. Ergebnisse der Untersuchung über den Einfluß fehlregistrierter Scharnierachsenpunkte auf die Lateralbewegungsbahn des Incisalpunktes.

Vorausgesetzt wird, daß Kieferrelationsbestimmung und nachfolgende Artikulatormontage ohne Bißsperrung erfolgten. In der Tabelle 3 sind die einzelnen Ergebnisse aufgeführt. Sie sind in den Abbildungen 26, 27 und 28 graphisch dargestellt.

Es zeigt sich, daß die Abweichungen mit steigender Fehlregistrierung und größer werdender Lateralbewegung gleichmäßig zunehmen, jedoch kein exakter linearer Zusammenhang besteht.
Die stärksten Abweichungen resultieren aus einer transversalen Verschiebung der Scharnierachsenpunkte, was einer Veränderung des Interkondylarabstandes im Artikulator entspricht.
Wesentlich kleinere Werte ergeben sagittale und vertikale Fehlregistrierungen, wobei die Abweichungen nach sagittaler Verschiebung der Scharnierachsenpunkte geringfügig größer als nach vertikaler Verschiebung sind.
Mit abnehmendem Radius - also einer Verlagerung des Rotationszentrums zum Incisalpunkt hin - ergibt sich eine stärkere Abweichung der Lateralbewegung von der Normalbahn. Umgekehrt bewirkt ein größerer Radius kleinere Differenzen zwischen korrekter und fehlerhafter Lateralbewegungsbahn.

Zu den Abbildungen 26, 27 und 28:

Auf der Abszisse ist jeweils der Verschiebungsbetrag des Scharnierachsenpunktes in mm angegeben.
Die vier Säulenpaare in jeder Abbildung symbolisieren von links nach rechts Verschiebungen von - 15 mm bis + 15 mm.
Auf der Ordinate sind die resultierenden Abweichungen von - 400 µm bis + 400 µm berücksichtigt.
Der linke Teil jeder Doppelsäule entspricht der sagittalen Abweichung Δx, der rechte Teil der vertikalen Abweichung Δy der Lateralbewegungsbahn. Gemäß der Definition des Koordinatensystems ist eine sagittale Abweichung Δx mit positivem Vorzeichen nach ventral, mit negativem Vorzeichen nach dorsal gerichtet. Entsprechend bedeutet bei vertikalen Differenzen Δy ein positives Vorzeichen eine caudale Abweichung, ein negatives Vorzeichen eine craniale Abweichung.
Die schraffierte Säulenhöhe gilt für eine Lateralbewegung des Incisalpunktes um 2 mm, die volle Säulenhöhe entspricht 4 mm Lateralbewegung.

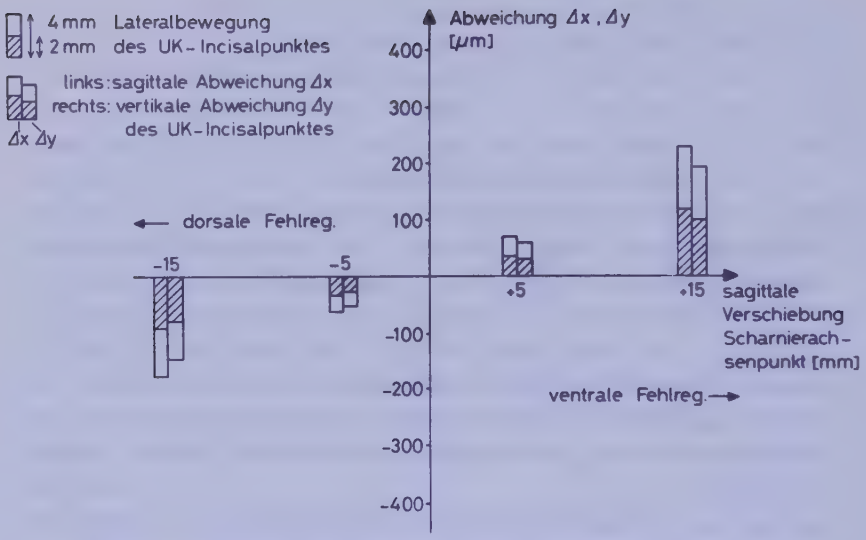


Abb. 26

Sagittale (Δ x) und vertikale (Δ y) Abweichung der Lateralbewegungsbahn des Unterkiefer-Incisalpunktes bei sagittaler Fehlregistrierung der Scharnierachsenpunkte um ± 5 mm und ± 15 mm.

Die Lateralbewegungsbahn des Incisalpunktes weicht umso stärker von der Normalbahn ab, je größer sagittale Fehlregistrierung und Lateralbewegung werden.

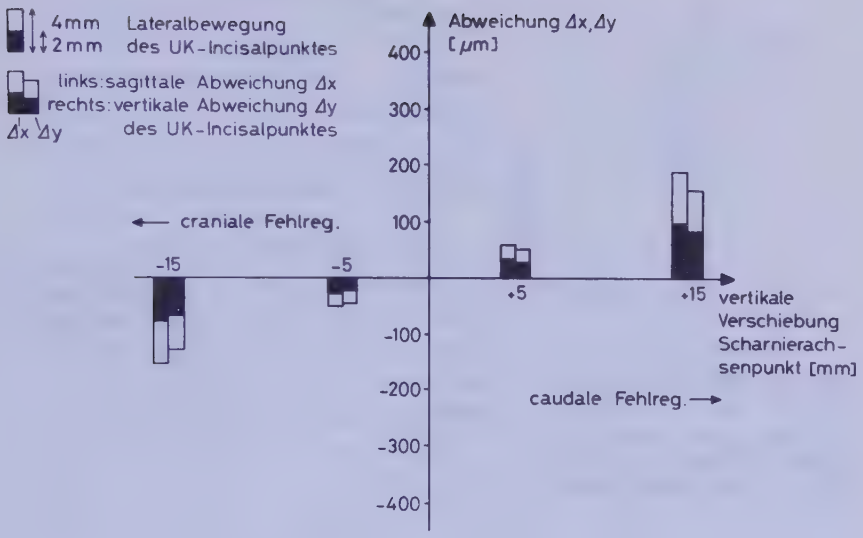


Abb. 27

Sagittale (Δ x) und vertikale (Δ y) Abweichung der Lateralbewegungsbahn des Unterkiefer-Incisalpunktes bei vertikaler Fehlregistrierung der Scharnierachsenpunkte um ± 5 mm und ± 15 mm.

Mit wachsender vertikaler Fehlregistrierung und zunehmender Lateralbewegung erfolgt ein gleichmäßiger Anstieg der Abweichung von der Normalbahn.

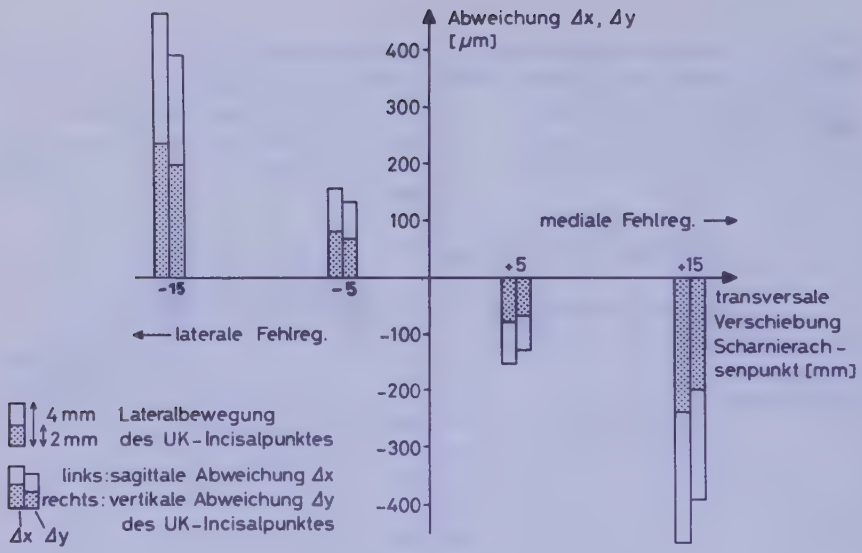


Abb. 28

Sagittale (Δ x) und vertikale (Δ y) Abweichung der Lateralbewegungsbahn des Unterkiefer-Incisalpunktes bei transversaler Fehlregistrierung der Scharnierachsenpunkte um ± 5 mm und ± 15 mm.
Wachsende transversale Fehlregistrierung und zunehmende Lateralbewegung bewirken einen gleichmäßigen Anstieg der Abweichung von der Normalbahn.
Ein Vergleich mit Abb. 26 und Abb. 27 zeigt, daß transversale Fehlregistrierungen die Lateralbewegungsbahn stärker verändern als sagittale und vertikale Fehlregistrierungen.

Zwei Beispiele:

1. Wird nach einer Verschiebung des Scharnierachsenpunktes um 5 mm nach cranial (-) die Lateralbewegung bei einem Ausschlag von 4 mm gestoppt, so weicht an dieser Stelle die Bewegungsbahn des Incisalpunktes um 54,67 µm nach dorsal (-) und um 45,88 µm nach cranial (-) von der ursprünglichen Lateralbewegungsbahn ab (Abb. 27).

2. Eine Verschiebung des Scharnierachsenpunktes um 15 mm nach ventral (+) bewirkt bei einer Lateralbewegung von 2 mm eine Abweichung gegenüber der Normalbahn des Incisalpunktes um 118,34 µm nach ventral (+) und um 99,30 µm nach caudal (+) (Abb. 26).

n	Fehlregistrierung			Rotationszentrum			Radius	Abweichung der Lateralbewegung (µm) $z_L = -2$		$z_L = -4$	
		x	y	z	x	y	z	(mm)	Δx	Δy	Δx	Δy
0		0	0	0	0	0	-57	112,304	0	0	0	0
1	Sagittale Verschiebung	-15	0	0	-15	0	-57	123,439	- 93,51	- 78,46	- 180,90	- 151,79
2		- 5	0	0	- 5	0	-57	115,919	- 33,51	- 28,12	- 64,77	- 54,35
3		+ 5	0	0	+ 5	0	-57	108,799	+ 36,24	+ 30,41	+ 69,94	+ 58.69
4		+15	0	0	+15	0	-57	102,162	+ 118,34	+ 99,30	+ 228,02	+ 191,33
5	Vertikale Verschiebung	0	-15	0	0	-15	-57	120,292	- 79,81	- 66,97	- 154,36	- 129,52
6		0	- 5	0	0	- 5	-57	114,811	- 28,29	- 23,74	- 54,67	- 45,88
7		0	+ 5	0	0	+ 5	-57	109,967	+ 30,21	+ 25,35	+ 58,32	+ 48,93
8		0	+15	0	0	+15	-57	105,849	+ 97,22	+ 81,58	+ 187,42	+ 157,26
9	Transversale Verschiebung	0	0	-15	0	0	-72	120,612	+ 235,50	+ 197,61	+ 465,04	+ 390,21
10		0	0	- 5	0	0	-62	114,922	+ 78,58	+ 65,94	+ 155,33	+ 130,34
11		0	0	+ 5	0	0	-52	109,851	- 78,67	- 66,01	- 155,65	- 130,61
12		0	0	+15	0	0	-42	105,485	- 236,25	- 198,24	- 467,92	- 392,63

Tab. 3: Abweichungen der Lateralbewegungsbahn des UK-Incisalpunktes bei Fehlregistrierung der Scharnierachsenpunkte.

5. DISKUSSION

Einschränkend muß berücksichtigt werden, daß es sich bei der vorliegenden Arbeit um die Ergebnisse theoretischer Modellrechnungen handelt, die streng unter den getroffenen mathematischen Voraussetzungen und im Rahmen der zugrundegelegten klinischen Bezugsgrößen ihre Gültigkeit haben.
Zur Relativierung unserer Ergebnisse sollte berücksichtigt werden, daß das räumliche Auflösungsvermögen des unbewaffneten menschlichen Auges 1 Winkelminute (Visus = 1,0) beträgt (DODT (7)).
Demzufolge können unter günstigen Beleuchtungsbedingungen aus 17 cm Entfernung zwei Punkte im Abstand von 50 µm gerade noch getrennt wahrgenommen werden.
Weiterhin spielt die taktile Sensibilität des Parodontiums eine Rolle: In den bei RAMFJORD und ASH (25) zitierten neueren Arbeiten wird die sensorische Schwelle zum bewußten Entdecken von Veränderungen in der Okklusion bei Fremdkörpern zwischen den Zähnen unterschiedlich mit 20 µm, 10 µm bzw. 8 µm angegeben. In den Versuchen wurden 60 µm große Fremdkörper ohne Ausnahme entdeckt.
Der Wertebereich um 50 µm liegt im Rahmen von Dimensionsveränderungen bei der Verarbeitung zahnärztlicher Werkstoffe und sollte deshalb bei der Bewertung okklusaler Differenzen aufgrund fehlregistrierter Scharnierachsenpunkte nicht berücksichtigt werden.

5.1. Zum Einfluß fehlregistrierter Scharnierachsenpunkte auf die Artikulatormontage:

Zweifelsohne wäre zur mathematischen Erfassung der Scharnierbewegung ein Zylinderkoordinatensystem die elegantere Lösung gewesen. Zugunsten einer besseren Anschaulichkeit verzichteten wir jedoch darauf.
In unserem Rechenmodell konnte die Verschiebung des okklu-

salen Referenzpunktes nur unter der Voraussetzung planer Okklusionsareale ermittelt werden. Die vertikal gerichtete okklusale Fehlerkomponente wird sich deshalb bei einer zusätzlich auftretenden Höckerneigung vergrößern.
Der Vergleich unserer Ergebnisse zum Einfluß der Bißsperrung auf die Genauigkeit der Artikulatormontage mit der Arbeit von FOX (8) zeigt eine gute Übereinstimmung der Werte bei der von ihm untersuchten Parallelverschiebung der Scharnierachse.

5.2. Zur Abweichung der Lateralbewegungsbahn:

Durch unsere Annahme einer kreisförmigen Lateralbewegung ergeben sich zu große Fehlerwerte für die transversale Fehlregistrierung des Scharnierachsenpunktes (entsprechend einer Änderung des Interkondylarabstandes im Artikulator). Bei Berücksichtigung der Bennett-Bewegung dürfte es durch die Lateralbewegung des Rotationskondylus (Arbeitsseite) zu kleineren Werten kommen. Dies zeigt die Arbeit von HESLER, HOFMANN und PRÖSCHEL (13), in welcher der Einfluß von Übertragungsfehlern für den Dentatus-Artikulator bei einer Laterotrusionsbewegung von 2 mm eines Molarenpunktes berechnet wird: Bei einem Bennettwinkel von 15^{o} führt die Änderung des Interkondylarabstandes um 10 mm zu einer horizontalen Abweichung der Artikulationsbahn um 110 µm und einer vertikalen Abweichung der Artikulationsbahn von 38 µm auf der Arbeitsseite.

Die Untersuchungen lassen den Schluß zu, daß Fehlregistrierungen der Scharnierachsenpunkte im Bereich von $\pm$ 5 mm einen relativ geringen Einfluß auf die spätere okklusale Genauigkeit des eingegliederten Zahnersatzes haben. Ein Vergleich mit den von HARCOURT (12) genannten Fehlerquellen beim Registrieren und Übertragen der Kieferrelation stellt aber auch die Frage, inwieweit eine Reproduzierbarkeit in

diesem Bereich überhaupt möglich ist.
Weiterhin muß hier die elastische Deformation der Unterkieferspange in Betracht gezogen werden. KOECK und SANDER (16) stellten fest, daß die transversale Distanzänderung zwischen den unteren zweiten Molaren bis zu 500 µm bei der Vorschubbewegung und etwa 100 µm bei der Mundöffnung beträgt.
So können z.B. Abformungen der Unterkieferzahnreihe bei maximaler Mundöffnung oder Muskelaktivität während der Abformung zu bleibenden Verfälschungen der Zahnstellung der Arbeitsmodelle führen, die nicht reproduzierbar sind. Damit wird der diagnostische Wert von Modellanalysen sehr fraglich (16).

Was die Versorgung des zahnlosen Kiefers anbetrifft, so stimmen wir mit FOX (8) überein, der bei Totalprothesen die Verwendung von "arbiträren" Achsenpunkten für ausreichend hält, da hier die erreichbare Genauigkeit von vornherein durch die Resilienz der Schleimhaut und andere Faktoren begrenzt ist.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Zwei Probleme wurden in der vorliegenden Arbeit mit Hilfe einer theoretischen Modellrechnung analysiert.

1. Welche okklusalen Fehler entstehen im Artikulator durch eine fehlregistrierte Scharnierachse nach vorausgegangener Bißsperrung durch ein Registrat?
Die Berechnungen des okklusalen Fehlers wurden für räumlich beliebig verteilte fehlregistrierte Scharnierachsenpunkte (im Bereich von ± 10 mm) durchgeführt und die Sonderfälle einer horizontalen Translation, vertikalen Translation, horizontalen Schwenkung und einer vertikalen Kippung detailliert dargestellt.
Im Rechenmodell wurde weiterhin die Veränderung des okklusalen Fehlers bei Variation folgender Parameter untersucht: Lage und Neigung der Kauebene, Bißsperrung, okklusaler Referenzpunkt.

2. Wie verändert sich eine hypothetische Lateralbewegungsbahn des Unterkiefer-Incisalpunktes im Rechenmodell, wenn die Scharnierachsenpunkte fehlregistriert sind, jedoch keine Veränderung der Vertikaldimension (Bißhöhe) vorgenommen wurde?
Die Abweichungen der Lateralbewegungsbahn werden vergleichend für Fehlregistrierungen der Scharnierachse, die sich in Betrag und Richtung unterscheiden, dargestellt.

ad 1. Es zeigte sich, daß Fehlregistrierungen der Scharnierachse im Sinne einer Schwenkung oder Kippung keine größeren okklusalen Differenzen verursachen als Fehlregistrierungen im Sinne einer Achsenparallelverschiebung. Wenn Registrier- und Übertragungsfehler die 5 mm-Grenze nicht überschreiten und die Bißsperrung bis zu 3 mm beträgt, so resultiert daraus bei der Artikulatormontage ein maximaler okklusaler Fehler von 250 µm. Jedoch führen Kippungen und Schwenkungen der Scharnierachse zu einer Lateralverschiebung des Unterkiefermodells im Artikulator. Diese Lateralverschiebung macht den

Hauptteil des okklusalen Fehlers aus.

ad 2. Die Abweichungen der Lateralbewegungsbahn nehmen gleichmäßig zu mit steigender Fehlregistrierung und größer werdender Lateralbewegung. Die stärksten Abweichungen resultieren aus einer transversalen Verschiebung der Scharnierachsenpunkte; hierbei werden bei 2 mm Lateralbewegung Werte bis zu 250 µm erreicht, wenn der Scharnierachsenpunkt um 15 mm fehlregistriert wurde.
Wesentlich kleinere Werte ergeben horizontale und vertikale Fehlregistrierungen: bei 2 mm Lateralbewegung und einem Scharnierachsen-Registrierfehler von 15 mm ergeben sich Abweichungen im Bereich von 100 µm.

Gelingt es, die Kieferrelation in der Schlußokklusion ohne Bißsperrung zu ermitteln und werden grobe transversale Fehlregistrierungen vermieden, so erreichen die Abweichungen der Lateralbewegungsbahn durch fehlregistrierte (± 15 mm) Scharnierachsenpunkte bei einem Artikulationsfeld von 2 mm maximal 100 µm.

7. TABELLENANHANG

Die folgenden Tabellen enthalten das Datenmaterial zum Abschnitt 4.3. (Einfluß fehlregistrierter Scharnierachsenpunkte auf die Artikulatormontage).

Für alle Längenangaben gilt die Einheit Millimeter.

Die Tabellen sind nach folgenden Präferenzen geordnet:

I. Kauebene
II. Okklusaler Referenzpunkt (Incisalp., Molarenp.)
III. Bißsperrung

Weiterhin ist das Zahlenmaterial jeder Tabelle noch einmal nach den einzelnen Achsenvariationen untergliedert.

Hinweis zu den Incisalpunkt-Tabellen:

Hier sind bei der horizontalen Schwenkung und vertikalen Kippung jeweils nur die Werte für

$$-10 \leq x_1, y_1 \leq 0 \quad \text{und}$$
$$+10 \geq x_2, y_2 \geq 0 \quad \text{ausgedruckt,}$$

da sich aufgrund der zentralen Symmetrie der Fehlregistrierung (Symmetriezentrum (0/0/0)) und der axialen Lage des Incisalpunktes (z = 0) für die restliche Spalte die gleichen Zahlenwerte - jedoch mit umgekehrtem Vorzeichen - ergeben.

Kauebene y = 33 mm/eps = 15°
Incisalpunkt
mit x = + 80, y = + 54,4359, z = 0
Bißsperrung = 1 mm

Fehlregist	rechts	links	Okklusaler Fehler Δx	Δy	Δz
Horiz. Transl.	- 10	- 10	- 0, 0542	- 0, 0145	0
	- 5	- 5	- 0, 0285	- 0, 0076	0
	- 2	- 2	- 0, 0117	- 0, 0031	0
	- 1	- 1	- 0, 0059	- 0, 0016	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	+ 0, 0061	- 0, 0016	0
	+ 2	+ 2	+ 0, 0122	+ 0, 0033	0
	+ 5	+ 5	+ 0, 0316	+ 0, 0085	0
	+ 10	+ 10	+ 0, 0670	+ 0, 0179	0
Vertik. Transl.	- 10	- 10	+ 0, 0847	+ 0, 0227	0
	- 5	- 5	+ 0, 0429	+ 0, 0115	0
	- 2	- 2	+ 0, 0173	+ 0, 0046	0
	- 1	- 1	+ 0, 0087	+ 0, 0023	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	- 0, 0087	- 0, 0023	0
	+ 2	+ 2	- 0, 0175	- 0, 0047	0
	+ 5	+ 5	- 0, 0442	- 0, 0118	0
	+ 10	+ 10	- 0, 0897	- 0, 0240	0
Horiz. Schw.	- 10	+ 10	- 0, 0000	- 0, 0000	- 0, 0872
	- 5	+ 5	- 0, 0000	- 0, 0000	- 0, 0436
	- 2	+ 2	- 0, 0000	- 0, 0000	- 0, 0174
	- 1	+ 1	- 0, 0000	- 0, 0000	- 0, 0087
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	-	-	-
	+ 2	- 2	-	-	-
	+ 5	- 5	-	-	-
	+ 10	- 10	-	-	-
Vertik. Kipp.	- 10	+ 10	- 0, 0001	- 0, 0000	+ 0, 1267
	- 5	+ 5	- 0, 0000	- 0, 0000	+ 0, 0634
	- 2	+ 2	- 0, 0000	- 0, 0000	+ 0, 0253
	- 1	+ 1	- 0, 0000	- 0, 0000	+ 0, 0127
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	-	-	-
	+ 2	- 2	-	-	-
	+ 5	- 5	-	-	-
	+ 10	- 10	-	-	-

Kauebene y = 33 mm/eps = 15°

Molarenpunkt
mit x = + 50, y = + 46,3975, z = + 25

Bißsperrung = 1 mm

Fehlregist	rechts	links	Okklusaler Fehler Δx	Δy	Δz
Horiz. Transl.	- 10	- 10	- 0, 0947	- 0, 0254	0
	- 5	- 5	- 0, 0509	- 0, 0136	0
	- 2	- 2	- 0, 0213	- 0, 0057	0
	- 1	- 1	- 0, 0108	- 0, 0029	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	+ 0, 0112	+ 0, 0030	0
	+ 2	+ 2	+ 0, 0227	+ 0, 0061	0
	+ 5	+ 5	+ 0, 0597	+ 0, 0160	0
	+ 10	+ 10	+ 0, 1306	+ 0, 0350	0
Vertik. Transl.	- 10	- 10	+ 0, 1117	+ 0, 0299	0
	- 5	- 5	+ 0, 0571	+ 0, 0153	0
	- 2	- 2	+ 0, 0231	+ 0, 0062	0
	- 1	- 1	+ 0, 0116	+ 0, 0031	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	- 0, 0117	- 0, 0031	0
	+ 2	+ 2	- 0, 0255	- 0, 0063	0
	+ 5	+ 5	- 0, 0596	- 0, 0160	0
	+ 10	+ 10	- 0, 1220	- 0, 0327	0
Horiz. Schw.	- 10	+ 10	+ 0, 0449	+ 0, 0120	- 0, 1124
	- 5	+ 5	+ 0, 0218	+ 0, 0058	- 0, 0544
	- 2	+ 2	+ 0, 0085	+ 0, 0023	- 0, 0214
	- 1	+ 1	+ 0, 0042	+ 0, 0011	- 0, 0106
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	- 0, 0042	- 0, 0011	+ 0, 0105
	+ 2	- 2	- 0, 0083	- 0, 0022	+ 0, 0208
	+ 5	- 5	- 0, 0205	- 0, 0055	+ 0, 0512
	+ 10	- 10	- 0, 0399	- 0, 0107	+ 0, 0993
Vertik. Kipp.	- 10	+ 10	- 0, 0457	- 0, 0123	+ 0, 1139
	- 5	+ 5	- 0, 0226	- 0, 0061	+ 0, 0565
	- 2	+ 2	- 0, 0090	- 0, 0024	+ 0, 0225
	- 1	+ 1	- 0, 0045	- 0, 0012	+ 0, 0112
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	+ 0, 0045	+ 0, 0012	- 0, 0112
	+ 2	- 2	+ 0, 0089	+ 0, 0024	- 0, 0223
	+ 5	- 5	+ 0, 0222	+ 0, 0060	- 0, 0555
	+ 10	- 10	+ 0, 0440	+ 0, 0118	- 0, 1102

Kauebene: y = 33 mm/eps = 15°
Incisalpunkt
mit x = + 80, y = + 54,4359, z = 0
Bißsperrung = 3 mm

Fehlregist	rechts	links	Okklusaler Fehler Δx	Δy	Δz
Horiz. Transl.	- 10	- 10	- 0, 1652	- 0, 0443	0
	- 5	- 5	- 0, 0867	- 0, 0232	0
	- 2	- 2	- 0, 0357	- 0, 0096	0
	- 1	- 1	- 0, 0181	- 0, 0048	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	+ 0, 0184	+ 0, 0049	0
	+ 2	+ 2	+ 0, 0373	+ 0, 0100	0
	+ 5	+ 5	+ 0, 0963	+ 0, 0258	0
	+ 10	+ 10	+ 0, 2038	+ 0, 0546	0
Vertik. Transl.	- 10	- 10	+ 0, 2519	+ 0, 0675	0
	- 5	- 5	+ 0, 1278	+ 0, 0342	0
	- 2	- 2	+ 0, 0516	+ 0, 0138	0
	- 1	- 1	+ 0, 0259	+ 0, 0069	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	- 0, 0260	- 0, 0070	0
	+ 2	+ 2	- 0, 0522	- 0, 0140	0
	+ 5	+ 5	- 0, 1317	- 0, 0353	0
	+ 10	+ 10	- 0, 2674	- 0, 0717	0
Horiz. Schw.	- 10	+ 10	- 0, 0004	- 0, 0001	- 0, 2655
	- 5	+ 5	- 0, 0001	- 0, 0000	- 0, 1328
	- 2	+ 2	- 0, 0000	- 0, 0000	- 0, 0531
	- 1	+ 1	- 0, 0000	- 0, 0000	- 0, 0266
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	-	-	-
	+ 2	- 2	-	-	-
	+ 5	- 5	-	-	-
	+ 10	- 10	-	-	-
Vertik. Kipp.	- 10	+ 10	- 0, 0008	- 0, 0002	+ 0, 3775
	- 5	+ 5	- 0, 0002	- 0, 0001	+ 0, 1888
	- 2	+ 2	- 0, 0000	- 0, 0000	+ 0, 0755
	- 1	+ 1	- 0, 0000	- 0, 0000	+ 0, 0378
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	-	-	-
	+ 2	- 2	-	-	-
	+ 5	- 5	-	-	-
	+ 10	- 10	-	-	-

Kauebene y = 33 mm/eps = 15°
Molarenpunkt
mit x = + 50, y = + 46,3975, z = + 25
Bißsperrung = 3 mm

Fehlregist	rechts	links	Okklusaler Fehler Δx	Δy	Δz
Horiz. Transl.	- 10	- 10	- 0, 2890	- 0, 0774	0
	- 5	- 5	- 0, 1550	- 0, 0415	0
	- 2	- 2	- 0, 0649	- 0, 0174	0
	- 1	- 1	- 0, 0329	- 0, 0088	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	+ 0, 0340	+ 0, 0091	0
	+ 2	+ 2	+ 0, 0691	+ 0, 0185	0
	+ 5	+ 5	+ 0, 1815	+ 0, 0486	0
	+ 10	+ 10	+ 0, 3967	+ 0, 1063	0
Vertik. Transl.	- 10	- 10	+ 0, 3299	+ 0, 0884	0
	- 5	- 5	+ 0, 1686	+ 0, 0452	0
	- 2	- 2	+ 0, 0684	+ 0, 0183	0
	- 1	- 1	+ 0, 0343	+ 0, 0092	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	- 0, 0347	- 0, 0093	0
	+ 2	+ 2	- 0, 0696	- 0, 0187	0
	+ 5	+ 5	- 0, 1765	- 0, 0473	0
	+ 10	+ 10	- 0, 3616	- 0, 0969	0
Horiz. Schw.	- 10	+ 10	+ 0, 1359	+ 0, 0364	- 0, 3422
	- 5	+ 5	+ 0, 0661	+ 0, 0177	- 0, 1657
	- 2	+ 2	+ 0, 0260	+ 0, 0070	- 0, 0651
	- 1	+ 1	+ 0, 0129	+ 0, 0035	- 0, 0323
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	- 0, 0128	- 0, 0034	+ 0, 0319
	+ 2	- 2	- 0, 0255	- 0, 0068	+ 0, 0635
	+ 5	- 5	- 0, 0626	- 0, 0168	+ 0, 1558
	+ 10	- 10	- 0, 1220	- 0, 0327	+ 0, 3025
Vertik. Kipp.	- 10	+ 10	- 0, 1360	- 0, 0364	+ 0, 3369
	- 5	+ 5	- 0, 0672	- 0, 0180	+ 0, 1671
	- 2	+ 2	- 0, 0267	- 0, 0071	+ 0, 0665
	- 1	+ 1	- 0, 0133	- 0, 0036	+ 0, 0332
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	+ 0, 0132	+ 0, 0035	- 0, 0331
	+ 2	- 2	+ 0, 0264	+ 0, 0071	- 0, 0660
	+ 5	- 5	+ 0, 0655	+ 0, 0176	- 0, 1643
	+ 10	- 10	+ 0, 1295	+ 0, 0347	- 0, 3260

Kauebene y = 33 mm/eps = 15°
Incisalpunkt
mit x = + 80, y = + 54,4359, z = 0
Bißsperrung = 5 mm

Okklusaler Fehler

Fehlregist	rechts	links	Δx	Δy	Δz
Horiz. Transl.	- 10	- 10	- 0, 2795	- 0, 0749	0
	- 5	- 5	- 0, 1467	- 0, 0393	0
	- 2	- 2	- 0, 0605	- 0, 0162	0
	- 1	- 1	- 0, 0305	- 0, 0082	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	+ 0, 0312	+ 0, 0084	0
	+ 2	+ 2	+ 0, 0630	+ 0, 0169	0
	+ 5	+ 5	+ 0, 1627	- 0, 0436	0
	+ 10	+ 10	+ 0, 3443	+ 0, 0923	0
Vertik. Transl.	- 10	- 10	+ 0, 4164	+ 0, 1116	0
	- 5	- 5	+ 0, 2114	+ 0, 0566	0
	- 2	- 2	+ 0, 0853	+ 0, 0229	0
	- 1	- 1	+ 0, 0428	+ 0, 0115	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	- 0, 0431	- 0, 0115	0
	+ 2	+ 2	- 0, 0864	- 0, 0231	0
	+ 5	+ 5	- 0, 2180	- 0, 0584	0
	+ 10	+ 10	- 0, 4429	- 0, 1187	0
Horiz. Schw.	- 10	+ 10	- 0, 0011	- 0, 0003	- 0, 4489
	- 5	+ 5	- 0, 0003	- 0, 0001	- 0, 2245
	- 2	+ 2	- 0, 0000	- 0, 0000	- 0, 0898
	- 1	+ 1	- 0, 0000	- 0, 0000	- 0, 0449
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	-	-	-
	+ 2	- 2	-	-	-
	+ 5	- 5	-	-	-
	+ 10	- 10	-	-	-
Vertik. Kipp.	- 10	+ 10	- 0, 0021	- 0, 0006	- 0, 6247
	- 5	+ 5	- 0, 0005	- 0, 0001	- 0, 3123
	- 2	+ 2	- 0, 0001	- 0, 0000	- 0, 1249
	- 1	+ 1	- 0, 0000	- 0, 0000	- 0, 0625
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	-	-	-
	+ 2	- 2	-	-	-
	+ 5	- 5	-	-	-
	+ 10	- 10	-	-	-

Kauebene y = 33 mm/eps = 15°

Molarenpunkt
mit x = + 50, y = + 46,3975, z = + 25

Bißsperrung = 5 mm

Fehlregist	rechts	links	Okklusaler Fehler Δx	Δy	Δz
Horiz. Transl.	- 10	- 10	- 0, 4896	- 0, 1312	0
	- 5	- 5	- 0, 2625	- 0, 0703	0
	- 2	- 2	- 0, 1098	- 0, 0294	0
	- 1	- 1	- 0, 0557	- 0, 0149	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	+ 0, 0575	+ 0, 0154	0
	+ 2	+ 2	+ 0, 1168	+ 0, 0313	0
	+ 5	+ 5	+ 0, 3067	+ 0, 0822	0
	+ 10	+ 10	+ 0, 6693	+ 0, 1793	0
Vertik. Transl.	- 10	- 10	+ 0, 5410	+ 0, 1450	0
	- 5	- 5	+ 0, 2768	+ 0, 0742	0
	- 2	- 2	+ 0, 1123	+ 0, 0301	0
	- 1	- 1	+ 0, 0564	+ 0, 0151	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	- 0, 0569	- 0, 0153	0
	+ 2	+ 2	- 0, 1144	- 0, 0307	0
	+ 5	+ 5	- 0, 2903	- 0, 0778	0
	+ 10	+ 10	- 0, 5953	- 0, 1595	0
Horiz. Schw.	- 10	+ 10	+ 0, 2286	+ 0, 0613	- 0, 5787
	- 5	+ 5	+ 0, 1115	+ 0, 0299	- 0, 2804
	- 2	+ 2	+ 0, 0440	+ 0, 0118	- 0, 1101
	- 1	+ 1	+ 0, 0219	+ 0, 0059	- 0, 0547
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	- 0, 0217	- 0, 0058	+ 0, 0540
	+ 2	- 2	- 0, 0431	- 0, 0116	+ 0, 1074
	+ 5	- 5	- 0, 1062	- 0, 0285	+ 0, 2636
	+ 10	- 10	- 0, 2073	- 0, 0556	+ 0, 5117
Vertik. Kipp.	- 10	+ 10	- 0, 2246	- 0, 0602	+ 0, 5536
	- 5	+ 5	- 0, 1106	- 0, 0296	+ 0, 2744
	- 2	+ 2	- 0, 0438	- 0, 0117	+ 0, 1092
	- 1	+ 1	- 0, 0219	- 0, 0059	+ 0, 0545
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	+ 0, 0217	+ 0, 0058	- 0, 0543
	+ 2	- 2	+ 0, 0433	+ 0, 0116	- 0, 1085
	+ 5	- 5	+ 0, 1074	+ 0, 0288	- 0, 2699
	+ 10	- 10	+ 0, 2118	+ 0, 0567	- 0, 5356

Kauebene y = 33 mm/eps = 15°
Incisalpunkt
mit x = + 80, y = + 54,4359, z = 0
Bißsperrung = 10 mm

Fehlregist	rechts	links	Okklusaler Fehler Δx	Δy	Δz
Horiz. Transl.	- 10	- 10	- 0, 5797	- 0, 1553	0
	- 5	- 5	- 0, 3040	- 0, 0815	0
	- 2	- 2	- 0, 1253	- 0, 0336	0
	- 1	- 1	- 0, 0633	- 0, 0170	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	+ 0, 0646	+ 0, 0173	0
	+ 2	+ 2	+ 0, 1305	+ 0, 0350	0
	+ 5	+ 5	+ 0, 3367	+ 0, 0902	0
	+ 10	+ 10	+ 0, 7115	+ 0, 1906	0
Vertik. Transl.	- 10	- 10	+ 0, 8153	+ 0, 2185	0
	- 5	- 5	+ 0, 4142	+ 0, 1110	0
	- 2	- 2	+ 0, 1673	+ 0, 0448	0
	- 1	- 1	+ 0, 0839	+ 0, 0225	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	- 0, 0845	- 0, 0226	0
	+ 2	+ 2	- 0, 1696	- 0, 0454	0
	+ 5	+ 5	- 0, 4282	- 0, 1147	0
	+ 10	- 10	- 0, 8712	- 0, 2334	0
Horiz. Schw.	- 10	+ 10	- 0, 0046	- 0, 0012	- 0, 9293
	- 5	+ 5	- 0, 0011	- 0, 0003	- 0, 4649
	- 2	+ 2	- 0, 0002	- 0, 0000	- 0, 1860
	- 1	+ 1	- 0, 0000	- 0, 0000	- 0, 0930
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	-	-	-
	+ 2	- 2	-	-	-
	+ 5	- 5	-	-	-
	+ 10	- 10	-	-	-
Vertik. Kipp.	- 10	+ 10	- 0, 0079	- 0, 0021	+ 1, 2258
	- 5	+ 5	- 0, 0020	- 0, 0005	+ 0, 6128
	- 2	+ 2	- 0, 0003	- 0, 0001	+ 0, 2451
	- 1	+ 1	- 0, 0001	- 0, 0000	+ 0, 1226
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	-	-	-
	+ 2	- 2	-	-	-
	+ 5	- 5	-	-	-
	+ 10	- 10	-	-	-

Kauebene y = 33 mm/eps = 15°
Molarenpunkt
mit x = + 50, y = + 46,3975, z = + 25
Bißsperrung = 10 mm

Okklusaler Fehler

Fehlregist	rechts	links	Δx	Δy	Δz
Horiz. Transl.	- 10	- 10	- 1, 0184	- 0, 2729	0
	- 5	- 5	- 0, 5452	- 0, 1461	0
	- 2	- 2	- 0, 2277	- 0, 0610	0
	- 1	- 1	- 0, 1155	- 0, 0310	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	+ 0, 1190	+ 0, 0319	0
	+ 2	+ 2	+ 0, 2418	+ 0, 0648	0
	+ 5	+ 5	+ 0, 6336	+ 0, 1698	0
	+ 10	+ 10	+ 1, 3769	+ 0, 3689	0
Vertik. Transl.	- 10	- 10	+ 1, 0373	+ 0, 2780	0
	- 5	- 5	+ 0, 5317	+ 0, 1425	0
	- 2	- 2	+ 0, 2160	+ 0, 0579	0
	- 1	- 1	+ 0, 1085	+ 0, 0291	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	- 0, 1097	- 0, 0294	0
	+ 2	+ 2	- 0, 2205	- 0, 0591	0
	+ 5	+ 5	- 0, 5603	- 0, 1501	0
	+ 10	+ 10	- 1, 1519	- 0, 3087	0
Horiz. Schw.	- 10	+ 10	+ 0, 4664	+ 0, 1250	- 1, 1981
	- 5	+ 5	+ 0, 2294	+ 0, 0615	- 0, 5808
	- 2	+ 2	+ 0, 0908	+ 0, 0243	- 0, 2281
	- 1	+ 1	+ 0, 0453	+ 0, 0121	- 0, 1133
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	- 0, 0449	- 0, 0120	+ 0, 1119
	+ 2	- 2	- 0, 0896	- 0, 0240	+ 0, 2225
	+ 5	- 5	- 0, 2215	- 0, 0593	+ 0, 5461
	+ 10	- 10	- 0, 4348	- 0, 1165	+ 1, 0594
Vertik. Kipp.	- 10	+ 10	- 0, 4376	- 0, 1173	+ 1, 0660
	- 5	+ 5	- 0, 2142	- 0, 0574	+ 0, 5284
	- 2	+ 2	- 0, 0846	- 0, 0227	+ 0, 2103
	- 1	+ 1	- 0, 0421	- 0, 0113	+ 0, 1050
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	+ 0, 0418	+ 0, 0112	- 0, 1046
	+ 2	- 2	+ 0, 0832	+ 0, 0223	- 0, 2089
	+ 5	- 5	+ 0, 2056	+ 0, 0551	- 0, 5189
	+ 10	- 10	+ 0, 4031	+ 0, 1080	- 1, 0314

Kauebene y = 40 mm/eps = 10°
Molarenpunkt
mit x = + 50, y = + 48,8163, z = + 25
Bißsperrung = 3 mm

Okklusaler Fehler

Fehlregist	rechts	links	Δx	Δy	Δz
Horiz. Transl.	- 10	- 10	- 0, 3129	- 0, 0552	0
	- 5	- 5	- 0, 1686	- 0, 0297	0
	- 2	- 2	- 0, 0707	- 0, 0125	0
	- 1	- 1	- 0, 0359	- 0, 0063	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	+ 0, 0372	+ 0, 0066	0
	+ 2	+ 2	+ 0, 0756	+ 0, 0133	0
	+ 5	+ 5	+ 0, 1993	+ 0, 0351	0
	+ 10	+ 10	+ 0, 4385	+ 0, 0773	0
Vertik. Transl.	- 10	- 10	+ 0, 3470	+ 0, 0612	0
	- 5	- 5	+ 0, 1763	+ 0, 0311	0
	- 2	- 2	+ 0, 0712	+ 0, 0126	0
	- 1	- 1	+ 0, 0357	+ 0, 0063	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	- 0, 0360	- 0, 0063	0
	+ 2	+ 2	- 0, 0722	- 0, 0127	0
	+ 5	+ 5	- 0, 1823	- 0, 0321	0
	+ 10	+ 10	- 0, 3709	- 0, 0654	0
Horiz. Schw.	- 10	+ 10	+ 0, 1491	+ 0, 0263	- 0, 3524
	- 5	+ 5	+ 0, 0723	+ 0, 0128	- 0, 1703
	- 2	+ 2	+ 0, 0284	+ 0, 0050	- 0, 0668
	- 1	+ 1	+ 0, 0141	+ 0, 0025	- 0, 0332
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	- 0, 0140	- 0, 0025	+ 0, 0327
	+ 2	- 2	- 0, 0278	- 0, 0049	+ 0, 0650
	+ 5	- 5	- 0, 0683	- 0, 0120	+ 0, 1595
	+ 10	- 10	- 0, 1328	- 0, 0234	+ 0, 3090
Vertik. Kipp.	- 10	+ 10	- 0, 1406	- 0, 0248	+ 0, 3271
	- 5	+ 5	- 0, 0696	- 0, 0123	+ 0, 1626
	- 2	+ 2	- 0, 0277	- 0, 0049	+ 0, 0648
	- 1	+ 1	- 0, 0138	- 0, 0024	+ 0, 0324
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	+ 0, 0138	+ 0, 0024	- 0, 0323
	+ 2	- 2	+ 0, 0275	+ 0, 0048	- 0, 0645
	+ 5	- 5	+ 0, 0683	+ 0, 0120	- 0, 1607
	+ 10	- 10	+ 0, 1353	+ 0, 0239	- 0, 3196

Kauebene y = 23 mm/eps = 20°
Molarenpunkt
mit x = + 50, y = + 41,1985, z = + 25
Bißsperrung = 3 mm

Fehlregist	rechts	links	Okklusaler Fehler Δx	Δy	Δz
Horiz. Transl.	- 10	- 10	- 0, 2620	- 0, 0954	0
	- 5	- 5	- 0, 1402	- 0, 0510	0
	- 2	- 2	- 0, 0586	- 0, 0213	0
	- 1	- 1	- 0, 0297	- 0, 0108	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	+ 0, 0306	+ 0, 0111	0
	+ 2	+ 2	+ 0, 0622	+ 0, 0226	0
	+ 5	+ 5	+ 0, 1632	+ 0, 0594	0
	+ 10	+ 10	+ 0, 3552	+ 0, 1293	0
Vertik. Transl.	- 10	- 10	+ 0, 3299	+ 0, 1201	0
	- 5	- 5	+ 0, 1697	+ 0, 0618	0
	- 2	- 2	+ 0, 0691	+ 0, 0251	0
	- 1	- 1	+ 0, 0347	+ 0, 0126	0
	0	0	0	0	0
	+ 1	+ 1	- 0, 0351	- 0, 0128	0
	+ 2	+ 2	- 0, 0707	- 0, 0257	0
	+ 5	+ 5	- 0, 1800	- 0, 0655	0
	+ 10	+ 10	- 0, 3713	- 0, 1352	0
Horiz. Schw.	- 10	+ 10	+ 0, 1224	+ 0, 0445	- 0, 3205
	- 5	+ 5	+ 0, 0596	+ 0, 0217	- 0, 1554
	- 2	+ 2	+ 0, 0235	+ 0, 0085	- 0, 0611
	- 1	+ 1	+ 0, 0117	+ 0, 0042	- 0, 0303
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	- 0, 0115	- 0, 0042	+ 0, 0300
	+ 2	- 2	- 0, 0230	- 0, 0084	+ 0, 0596
	+ 5	- 5	- 0, 0565	- 0, 0206	+ 0, 1465
	+ 10	- 10	- 0, 1102	- 0, 0401	+ 0, 2847
Vertik. Kipp.	- 10	+ 10	- 0, 1385	- 0, 0504	+ 0, 3571
	- 5	+ 5	- 0, 0682	- 0, 0248	+ 0, 1766
	- 2	+ 2	- 0, 0270	- 0, 0098	+ 0, 0702
	- 1	+ 1	- 0, 0135	- 0, 0049	+ 0, 0350
	0	0	0	0	0
	+ 1	- 1	+ 0, 0134	+ 0, 0049	- 0, 0349
	+ 2	- 2	+ 0, 0267	+ 0, 0097	- 0, 0696
	+ 5	- 5	+ 0, 0662	+ 0, 0241	- 0, 1728
	+ 10	- 10	+ 0, 1305	+ 0, 0475	- 0, 3420

8. LITERATURVERZEICHNIS

1. BAUER, A. und GUTOWSKI, A. — Das gnathologische Konzept. Dtsch. zahnärztl. Z. 27, 449-465 (1972)

2. BAUER, A. und GUTOWSKI, A. — Gnathologie. Einführung in Theorie und Praxis. Verlag Die Quintessenz, Berlin 1975

3. BORGH, O. und POSSELT, U. — Hinge axis registration: Experiments on the articulator. J. prosth. Dent. 8, 35-40 (1958)

4. BROTMAN, D.N. — Hinge axes, part I. The transverse hinge axis. J. prosth. Dent. 10, 436-440 (1960)

5. BROTMAN, D.N. — Hinge axes, part II. Geometric significance of the transverse axis. J. prosth. Dent. 10, 631-636 (1960)

6. BROTMAN, D.N. — Hinge axes, part III. Vertical and sagittal rotational centers. J. prosth. Dent. 10, 873-877 (1960)

7. DODT, E. — Lichtsinn. In: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie. Herausgegeben von KEIDEL, W.D. Thieme Stuttgart 1973

8. FOX, S.S. — The significance of errors in hinge axis location. J. Amer.dent. Ass. 74, 1268-1272 (1967)

9. FRÖHLICH, E. und E. KÖRBER — Die prothetische Versorgung des Lückengebisses. Befunderhebung und Planung. 2., neubearb. Aufl. Hanser München Wien 1977.

10. GAUSCH, K. und KULMER, S. — Grenzen der Scharnierachsenmethode in der Funktionsanalyse des Gebisses. Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 82, 161-167 (1972)

11. GRASSO, J.E. and SHARRY, J. — The duplicability of arrow-point tracings in dentulous subjects. J. prosth. Dent. 20, 106-115 (1968)

12. HARCOURT, J.K. — Accuracy in registration and transfer of prosthetic records. Aust. dent. J. 19, 182-190 (1974)

13. HESLER, H.v., HOFMANN, M. und PRÖSCHEL, P. — Geometrisch-mathematische Analyse von Übertragungsfehlern in den Artikulator und deren praktische Auswirkungen. Dtsch. zahnärztl. Z. 32, 599-605 (1977)

14. HOHLFELD, E. und HUPFAUF, L. — Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit des Symphysenbahnwinkels. Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 13-18 (1970)

15. HORN, R. und VETTER, A. — Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit zentraler Registrate nach Lauritzen. Dtsch. zahnärztl. Z. 31, 721-724 (1976)

16. KOECK, B. und SANDER, G. — Über die elastische Deformation der Unterkieferspänge. Dtsch. zahnärztl. Z. 33, 254-261 (1978)

17. KÖRBER, E. Grundlagen der funktionellen Gebißanalyse.
Dtsch. zahnärztl. Z. 26, 98-105 (1971)

18. KÖRBER, K.H. Zahnärztliche Prothetik. Band I: Funktionslehre, Gnathologie, Traumatologie.
Thieme Stuttgart 1975

19. KÖHL, W. Geometrie der scharniergelenkbezüglichen Modellorientierung.
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 873-875 (1967)

20. LAURITZEN, A.G. and BODNER, G.H. Variations in location of arbitrary and true hinge axis points.
J. prosth. Dent. 11, 224-229 (1961)

21. LAURITZEN, A.G. and WOLFORD, L.W. Hinge axis location on an experimental basis.
J. prosth. Dent. 11, 1059-1067 (1961)

22. NYFFENEGGER, G.W., SCHÄRER, P. und JAHN, E. Die Öffnungsbewegungen des Unterkiefers.
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 81, 961-990 (1971)

23. POSSELT, U. Studies in the mobility of the human mandible.
Acta odont. scand 10, Suppl. 10, 13-142 (1952)

24. POSSELT, U. Terminal hinge movement of the mandible.
J. prosth. Dent. 7, 787-797 (1957)

25. RAMFJORD, S.P. und ASH, M. Physiologie und Therapie der Okklusion.
Verlag Die Quintessenz, Berlin 1968

26. RICHTER, H. und D. WINDECKER
Wieweit stimmen okklusale Kontakte am Modell bei unterschiedlichen Lokalisations- und Übertragungsverfahren der terminalen Scharnierachsenpunkte überein?
Dtsch. zahnärztl. Z. 32, 707 (1977)

27. ROSSBACH, A.
Untersuchungen zur Anwendung von Mittelwertartikulatoren.
Dtsch. zahnärztl. Z. 23, 1398-1400 (1968)

28. ROSSBACH, A.
Auswirkungen von Fehlregistrierungen der Interkondylarachse auf die Reproduktionsgenauigkeit von Artikulationsbewegungen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 25, 222-225 (1970)

29. ROSSBACH, A.
Auswirkungen von Fehlregistrierungen der Gelenkbahnneigung auf die Reproduktionsgenauigkeit von Lateralbewegungen.
Dtsch. zahnärztl. Z. 28, 358-361 (1973)

30. SCHALLHORN, R.G.
A study of the arbitrary center and the kinematic center of rotation for face-bow mountings.
J. prosth. Dent. 7, 162-169 (1957)

31. SEILER, F. und HUPFAUF, L.
Untersuchungen über die Reproduzierbarkeit der terminalen Scharnierachsenpunkte.
Dtsch. zahnärztl. Z. 28, 775-780 (1973)

32. TETERUCK, W.R. and LUNDEEN, H.C.
The accuracy of an ear face-bow.
J. prosth. Dent. 16, 1039-1046 (1966)

33. TRAPOZZANO, V.R. and LAZZARI, J.B. A study of hinge axis determination. J. prosth. Dent. 11, 858-863 (1961)

34. TRAPOZZANO, V.R. and LAZZARI, J.B. The physiology of the terminal rotational position of the condyles in the temporomandibular joint. J. prosth. Dent. 17, 122-133 (1967)

35. WEINBERG, L.A. An evaluation of the face-bow mounting. J. prosth. Dent. 11, 32-42 (1961)

36. ZEIHER, W. Untersuchungen zur Lage des Unterkiefers bei Patienten mit vollbezahntem Gebiß mit Hilfe einer graphischen Registriermethode. Med. Diss. Tübingen 1972

Herrn Professor Dr. E. K ö r b e r danke ich für die Überlassung des Themas sowie für die jederzeit großzügige Unterstützung und engagierte Förderung bei der Durchführung dieser Arbeit.

Mein Dank gilt weiterhin Herrn Dipl.-Math. W. K l e m t vom Zentrum für Datenverarbeitung der Universität Tübingen, der das Computerprogramm zur Berechnung der okklusalen Differenzen aufbaute, und Herrn Dipl.-Phys. D. L u k a s vom Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Tübingen, der für den Abschnitt "Abweichungen der Lateralbewegungsbahn" die Dateneingabe in den Rechner übernahm.

LEBENSLAUF

Am 2. Oktober 1951 wurde ich, Wulf Sörgel, als Sohn des Ingenieurs Helmut Sörgel und seiner Ehefrau Margarete Sörgel geb. Geißler in Lüdenscheid geboren.

Von 1958-1962 besuchte ich die Grundschule, ab 1962 das Melanchthon-Gymnasium in Bretten, wo ich am 10. Juni 1970 das Abitur bestand.

Vom Wintersemester 1970 bis einschließlich Sommersemester 1972 war ich an der Universität (TH) Karlsruhe für das Studienfach Wirtschaftsingenieur - Fachrichtung Informatik und Operations Research - immatrikuliert. Hier legte ich am 13. Oktober 1972 die Diplom-Vorprüfung für Wirtschaftsingenieure ab.

Vom Wintersemester 1972/73 bis zum Sommersemester 1977 studierte ich Zahnmedizin an der Universität Tübingen. Am 14. Dezember 1977 schloß ich mein Studium an der Universität Tübingen mit dem Staatsexamen ab und erhielt am 19. Dezember 1977 die Approbation als Zahnarzt.

Seit dem 1. Januar 1978 bin ich als wissenschaftlicher Angestellter in der Abteilung für zahnärztliche Prothetik des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Tübingen tätig.